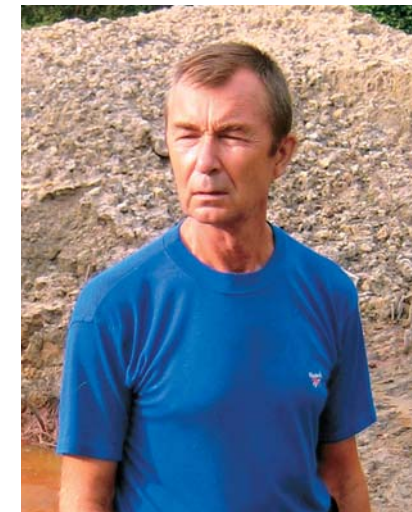


В. П. АФАНАСЬЕВ

РОДОСЛОВНАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Несмотря на успехи в синтезе искусственных драгоценных камней, в том числе и алмазов, спрос на природные камни не падает. Кристаллы, рожденные миллионы лет назад в земных глубинах, становятся гордостью музеев и частных коллекций, их используют в качестве банковских активов... И самое главное, как и в древности, алмазы остаются самым желанным и дорогим женским украшением. Но современные «охотники за сокровищами» надеются не только на удачу: они стремятся проникнуть в самую тайну происхождения кристаллического углерода, чтобы получить в руки надежную путеводную нить в своих нелегких поисках



Многие вещи нам непонятны не потому, что наши понятия слабы, но потому, что сии вещи не входят в круг наших понятий.

Козьма Прутков

АФАНАСЬЕВ Валентин Петрович – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 150 научных работ, в том числе 6 монографий. Заядлый путешественник

Однажды мой учитель Збигнев Бартошинский, профессор кафедры минералогии Львовского университета, сказал с оттенком раздражения: «Скоро алмазы дома за печкой находить будут». Речь шла об открытии в 1980 г. в Северном Казахстане месторождения Кумды-Коль, где алмазы содержались в породе, образовавшейся невулканическим путем. Это стало очередным ударом по устоявшимся представлениям, что единственным источником природных алмазов является *кимберлит* – магматическая порода.

Геология алмаза до этого времени напоминала классическую физику XIX в., когда большинство наблюдаемых явлений могло быть с успехом объяснено в рамках одной действующей парадигмы. Однако знаменитый опыт Майкельсона–Морли, показавший независимость скорости света от скорости движения его источника, открыл для физики совершенно новые горизонты.

Нечто похожее произошло и с теорией о происхождении алмазов, хотя здесь до сих пор еще срабатывает один из психологических аспектов познания – консерватизм мышления. «Не ищите избыточных сущностей» – этот принцип средневекового схоласта, названный позднее «бритвой Оккама», исподтишка заставляет нас сунуть ноги в мягкие стоптанные тапочки у дивана, чтобы не идти босиком по каменистой дороге.

Тем не менее открытия новых месторождений низвели кимберлит к уровню одного из многих источников алмазов, общее число которых до сих пор неизвестно. Геологи, пусть и со скрипом, но начинают признавать новую реальность: алмазы *полигенны*, т. е. имеют раз-

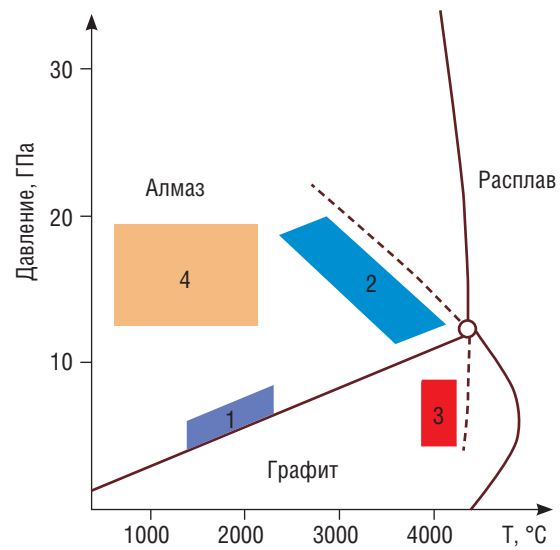
личное происхождение. Сегодня мы знаем о полигенезе алмазов немало, но это знание пока не систематизировано, поэтому оперировать им приходится главным образом на уровне фактов.

Для начала вспомним, что в природе алмазы образуются при высоком давлении и температуре (более 45 кбар и 1200 °С). Такие условия встречаются на глубинах 120 км и более в верхней мантии Земли. (Сейчас обнаружены сверхглубинные алмазы, кристаллизовавшиеся на глубинах до 600 км, соответствующих нижней мантии.)

Нужно отметить, что ни в одном коренном или россыпном месторождении мы не найдем двух одинаковых кристаллов. Они не могут быть тождественны полностью хотя бы по тому, что в один и тот же момент времени не могли занимать одно и то же место в пространстве. Их неравнозначность – неизбежное следствие локальных и временных колебаний условий кристаллизации и ряда других факторов.

Понятно, что полигенез алмазов – понятие очень широкое, и рассмотреть его в полном объеме практически невозможно. Поэтому представляется наиболее целесообразным сначала разделить все сообщество природных алмазов по заранее оговоренному признаку и изучать полигенез внутри выделенных групп. Ведь совокупность алмазов, однородная в отношении одного признака, может быть очень разнообразной в отношении других.

В качестве аналогии рассмотрим человечество как сумму отдельных индивидов: его можно разбить на моногенные группы по полу, расе, национальности,



Алмазы, как видно из фазовой диаграммы элементарного углерода, образуются при высокой температуре и давлении:

- 1 – область каталитического (в присутствии металла) синтеза алмаза из графита;
- 2 – область прямого перехода графита в алмаз;
- 3 – область прямого превращения алмаза в графит;
- 4 – область прямого превращения графита в лонсдейлит (алмазную фракцию, образующуюся в результате ударных высокоскоростных взаимодействий). По: (Bundy, 1989)

религиозной принадлежности и т. д. Так и алмазы можно делить на определенные группы по условиям кристаллизации, составу материнской среды, источнику углерода.

При этом признаком, наиболее полно отражающим изначальную полигенность алмазов, является, очевидно, тип коренного источника.

Хранятся в россыпях

Полигенез алмазов по типам коренных источников наиболее наглядно можно наблюдать при исследовании *россыпей* – скоплений относительно мелких обломков массивных горных пород, разрушившихся под действием изменений температуры, воды, ветра. Минералы, устойчивые к механическому износу и физико-химическим воздействиям, могут сохраняться в россыпях миллионы лет, даже неоднократно переотлагаясь в более молодые отложения.

Алмаз в этом отношении уникален – это настоящий Агасфер в мире минералов благодаря своей твердости

ПО СЛЕДУ КОРЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Коренное алмазное месторождение значительно перспективнее для эксплуатации, нежели россыпное. Поэтому, обнаружив россыпь, геологи сразу пытаются определить тип и местоположение коренного источника. И в этом смысле старателю, не обремененному научным багажом, проще: его метод – это метод «тыка», или «дикий кошки», т. е. тотальный поиск на местности в расчете натолкнуться на коренное месторождение или богатый участок россыпи.

Уважающий же себя геолог попытается дать научно обоснованный прогноз, опираясь на накопленные знания и прецеденты. К сожалению, знаний и опыта иногда не хватает, и тогда тот же геолог, воровато озираясь, запускает «дикую кошку» под видом научного прогноза и ведет бурение, проверяя все геофизические аномалии или зондируя определенный участок в надежде попасть в месторождение. Не стоит осуждать его за это, ведь найти кимберлитовую трубку диаметром 100 м на абсолютно дикой территории в десятки тысяч квадратных километров якутской тайги либо песков Калахари, либо джунглей Гвинеи – задача очень непростая.

Тем не менее, несмотря на все трудности, геологам удалось сформировать достаточно мощный комплекс методов прогноза и поиска месторождений алмазов, главным образом кимберлитового типа, который успешно используется в самых сложных условиях. Загвоздка состоит в том, что зачастую идентифицировать найденные в россыпи кристаллы с алмазами из известных коренных источников (например, того же кимберлита) не удается, и тогда прогноз и поиск вождельного месторождения становится задачей нетривиальной.

Конечно, россыпь представляет собой «след» коренного месторождения, но ведь даже собака может взять зверя только по свежему следу. И геолог без труда выйдет на коренной источник по «дорожке» из индикаторных минералов и алмазов, если этот источник дает современный поток рассеяния, т. е. молодую россыпь. Но что делать, если россыпь древняя, как след динозавра на окаменевшей мезозойской глине?

Кроме того, подобная поисковая задача может быть не только неразрешимой, но и неактуальной. Например, поиск коренного месторождения карбонадо – специфических технических алмазов из бразильских россыпей сам по себе очень интересен для геолога, но при этом и непомерно дорог, учитывая невысокую стоимость самих кристаллов. К тому же может оказаться, что коренной источник давно разрушен процессами эрозии.



Для промывки алмазоносных отложений используют квадратные сита с мелкой сеткой, а осадок затем внимательно осматривают. На такой импровизированной обогатительной фабричке в Гвинеи был найден и этот алмаз весом 2,5 карата (фото слева). На фото внизу справа – автор



АЛМАЗНЫЕ РОССЫПИ БЫВАЮТ ДВУХ ТИПОВ:

- 1) россыпи ближнего переноса с известными коренными источниками – богатыми и достаточно крупными кимберлитовыми телами; эти россыпи обычно не старше позднего палеозоя;
- 2) россыпи с неустановленными коренными месторождениями, в которых могут быть представлены алмазы из разных источников различного возраста, в том числе и кимберлита; такие россыпи могут изначально быть очень древними, но впоследствии неоднократно переотложены, вплоть до современных



Образующиеся вулканическим путем кимберлитовые тела – основной тип коренных месторождений алмазов

Ни в одном месторождении невозможно найти двух совершенно одинаковых кристаллов алмаза. Якутские алмазы – яркое тому подтверждение

и инертности к факторам внешней среды. Самая древняя из известных россыпей алмазов – Витватерсранд в Южной Африке возрастом 2,9 млрд лет. Значительно более широко распространены протерозойские (от 2,5 млрд лет) и более молодые россыпи вплоть до самых массовых современных четвертичного возраста (от 1,8–1,6 млн лет).

Чем моложе россыпь, тем больше шансов, что в ней содержатся алмазы из источников разного возраста и генезиса. Надо учесть также, что россыпи могут формироваться прямо над коренным источником за счет выветривания породы (*элювиальные россыпи*).

Алмазы добывались из россыпей с древнейших времен. Большинство наиболее известных «исторических» камней добыты из россыпей р. Кришна, неподалеку от индийского торгового городка Голконда. В 1725 г. на рынке появились алмазы из Бразилии, причем большинство известных ювелирных камней найдены здесь в конце XIX в. В Австралии первые алмазы обнаружены в 1861 г. в россыпях на юго-востоке континента. Добывались они и в россыпях на о. Борнео (Калимантан), на Суматре, в китайской провинции Шаньдун и ряде других мест.



Кимберлитовый транспортер

Однако настоящая история алмаза, связанная с кимберлитом как основным типом коренных месторождений, началась в 1866 г., когда пятнадцатилетний Эразмус нашел блестящий камешек на ферме своего отца близ городка Кимберли (Капская провинция в Южной Африке). Через пять лет здесь была открыта первая кимберлитовая трубка, а в течение 15 последующих лет в Южной Африке было найдено множество других кимберлитовых тел и добыто алмазов больше, чем за два тысячелетия в Индии. Сейчас кимберлиты обнаружены на всех материках, кроме Антарктиды, но весьма вероятно, что они есть и там, только скрыты под мощными толщами льда.



Карьер кимберлитовой трубки Айхал (Якутия)

Методология геологического поиска алмазов сродни таковой для криминалистов: и там и там нужно идентифицировать след (улики и индикаторные минералы соответственно) и локализовать объект (преступника и коренной источник)

Кимберлит формируется в условиях верхней мантии Земли на глубинах более 100 км. Кимберлитовые тела образуются вулканическим путем, поэтому чаще всего имеют форму *трубок взрыва*; реже встречаются так называемые *дайки* – протяженные уплощенные образования размером от сантиметров до десятков метров.

Кимберлит выносит на поверхность ряд глубинных минералов – красный, оранжевый и фиолетовый *гранат (пироп)*, черный *пикроильменит*, желтовато-зеленый *оливин*, похожий на слюду *флогопит*, ярко-зеленый *пироксен (хромдиоксид)* и др. Вся эта каменная радуга является для кимберлита чуждым материалом, который был захвачен магматическим расплавом на месте своего зарождения и при продвижении сквозь толщу литосферы.

Кимберлит – магматическая порода порфировой структуры, содержащая множество минеральных включений, – является основным коренным источником алмаза, но сам внешне весьма скромен

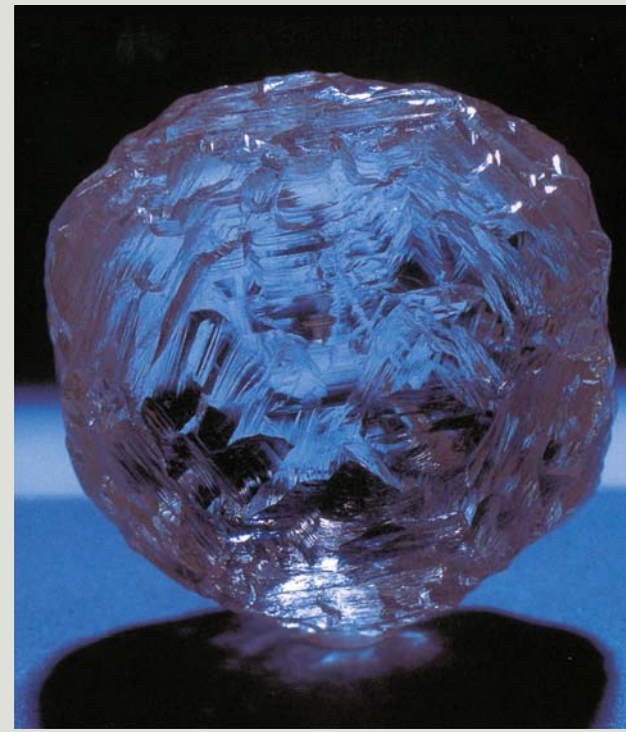




«Каюр», 53,9 карата. Тр. Мир, 1992 г.



«Олонхо», 150,9 карата. Тр. Удачная, 1991 г.



«Сулус Таас», 104,1 карата. Тр. Сытыканская, 1992 г.



«Премьер», 210,6 карата. Тр. Мир, 1991 г.

Мантийные алмазоносные породы делятся на две основные группы – перидотиты и эклогиты, что обусловлено глобальной дифференциацией самого вещества Земли.

Группы различаются по содержанию окиси кремния: первая по сравнению со второй недонасыщена кремнеземом SiO_2 , который идет преимущественно на образование силикатных минералов – пиропов, пироксенов, оливинов. Алмазы, связанные с этими типами пород (тип Р – перидотитовые, тип Е – эклогитовые), также различаются по ряду показателей, в частности по набору минеральных включений, соответствующих составу материнских пород. В целом алмазы Р-типа представляют собой значительно более однородную группу, чем Е-типа. При этом различия между группами обусловлены не только разным характером материнской среды, но также источником углерода и условиями роста, отраженными в характере внутреннего строения и распределении размеров кристаллов.

Для алмазов типа Р характерен узкий диапазон колебаний изотопного состава углерода, что соответствует мантийному резервуару углерода; преимущественно послойный механизм роста и октаэдр как основная форма. Алмазы этого типа, как правило, крупные (более 0,5 мм) и обладают совершенной кристаллической структурой.

Для алмазов типа Е характерен, в первую очередь, широкий диапазон изотопного состава углерода, что соответствует углероду коры: от обогащенных тяжелым изотопом морских карбонатов до органического углерода. Морфологически они удивительно разнообразны, при этом встречается много кристаллов с дефектной кристаллической структурой, сростков и т. п. В основном такие алмазы представляют собой микрокристаллы и встречаются в породах в огромном количестве; вместе с тем среди них могут попадаться и крупные кристаллы высокого качества.

Для нашего героя – алмаза – кимберлит также служит лишь транспортным средством. И хотя кимберлитовые тела являются основным типом коренных алмазных месторождений, лишь десятая их часть содержит алмазы, и только очень немногие имеют промышленное значение. Так, на Сибирской платформе алмазоносны главным образом среднепалеозойские (позднедевонские) кимберлиты; более поздние мезозойские в большинстве случаев не содержат алмазов.

Кимберлит – вполне определенный тип магматической породы, но при этом находящиеся в нем алмазы демонстрируют яркий пример полигенеза. Это, в первую очередь, обусловлено упомянутой выше «чужеродностью» самого алмаза для кимберлита. Ведь последний

захватывает алмазы из мантии, проходя сквозь различные материнские алмазоносные породы. Обломки этих пород в виде *алмазоносных ксенолитов* – ценнейший источник информации об условиях, времени и месте образования алмазов.

Состав материнских пород отражается на минеральных включениях в алмазе. По их характеру алмазы делят на *перидотитовые* (тип Р) и *эклогитовые* (тип Е). Судя по изотопному составу углерода, его источником для алмазов первого типа послужила земная мантия, для второго – кора.

Распределение обоих типов алмазов в кимберлитах различается. По подсчетам Н. В. Соболева, в промышленных месторождениях Сибирской платформы более 96% алмазов принадлежат к перидотитовому типу. Однако среди алмазов якутской трубки Дьянга до 40% относится к типу Е, а в кимберлитах Венесуэлы (район Гуаньямо) почти все алмазы – эклогитовые.

Заметим, что почти все кимберлитовые алмазы в той или иной степени затронуты магматической коррозией. В результате агрессивного воздействия расплава кимберлита октаэдры превращаются в округлые до-

Именные ювелирные алмазы из кимберлитовых трубок Якутии

декаэдровиды, на поверхности кристаллов возникают многочисленные коррозионные фигуры. Хотя при этом облик кристаллов значительно меняется, к полигенезу это отношения не имеет.

Вместе с магмой

Следующий тип породы, формирующей промышленные алмазные месторождения, – *лампроит*. Эта магматическая порода хотя и не близнец кимберлиту, но, по крайней мере, его близкая родственница.

Несколько отличаясь от кимберлита по химическому составу и минералогии, лампроит также формирует трубки взрыва, далеко не все из которых содержат алмазы. Сами алмазы во многом аналогичны кимберлитовым. Так, в трубке Аргайл в Австралии – крупнейшем лампроитовом месторождении – алмазы полностью аналогичны по морфологии кимберлитовым, отличаясь лишь резким доминированием алмазов Е-типа с обедненным изотопным составом углерода.

В других лампроитовых телах (например, трубке Маджгаван в Индии и дайках Ингашинского поля



Во многих алмазоносных лампроитах содержится большее, по сравнению с кимберлитами, число округлых алмазов, представляющих собой результат растворения исходно октаэдрических кристаллов: а – типичные алмазы из кимберлитовой трубки Юбилейная (Якутия); б – округлые алмазы лампроитовой трубки Маджгаван (Индия). По: (Афанасьев и др., 2000)

в Восточном Саяне) содержится более значительная, в сравнении с кимберлитами, доля округлых алмазов додекаэдрического габитуса. Подобная форма кристаллов представляет собой результат растворения исходно октаэдрических алмазов.

Кристаллы округлой формы часто встречаются в разновозрастных россыпях алмазов по всему миру (в Бразилии, Индии, на Урале, в Восточном Саяне, на северо-востоке Сибирской платформы), в том числе и в многочисленных россыпях протерозойского возраста. Хотя сегодня коренные источники этих алмазов неизвестны, есть все основания выдвигать на роль последних именно лампроиты. Вероятно, древние россыпи впоследствии в значительной степени подверглись эрозии, и алмазы были переотложены в более молодые, в том числе и современные, россыпи.

Здесь нужно отметить, что семейство магматических алмазосодержащих пород пополнилось не только лампроитами. К настоящему времени алмазы обнаружены во многих других породах некимберлитового типа. Это лампрофилы Канады, коматииты Французской Гвианы, шонкиниты Узбекистана и т. д.

Первичная природа некоторых других алмазоносных пород, претерпевших сильные изменения, до сих пор остается загадкой (например, алмазоносные *филлиты* Бразилии). Но, так или иначе, круг экзотических магматических пород, содержащих алмазы, становится все шире, и это дает основания считать, что их перечень будет и дальше пополняться.

Однако потесниться пришлось не только кимберлиту...

Кокчетавский сюрприз

История открытия вышеупомянутого необычного алмазного месторождения Кумды-Коль началась еще в 1967 г. Тогда при исследовании молодых титан-циркониевых россыпей Кокчетавского массива симферопольские геологи нашли мелкие желтые алмазы кубической формы. Это стимулировало поисковые работы, но сами алмазоносные породы были обнаружены лишь к концу 1970-х гг.

И здесь геологов ожидал настоящий сюрприз. Коренным источником кокчетавских алмазов оказались

Коренными источниками алмазов могут быть не только изверженные магматические породы, такие как кимберлит, но и метаморфические, т. е. породы, которые прошли сложный путь превращений в недрах Земли в результате ряда физико-химических процессов

не магматические, а *метаморфические* горные породы, т. е. осадочные или изверженные породы, которые были затем существенно «преобразованы» в земной коре и мантии под воздействием химически активных веществ, высокой температуры и давления.

Когда и как образовались в метаморфических породах эти уникальные кристаллы?

Сам Кокчетавский массив имеет сложное геологическое строение и включает древнее (2,2–2,3 млрд лет) гнейсовое основание, перекрытое более молодыми отложениями. Согласно предположениям Н. В. Соболева и В. С. Шацкого, в раннем кембрии (530–540 млн лет) блок земной коры был погружен тектоническими процессами на глубину не менее 125 км. Горные породы при этом подверглись действию высокого давления и температуры (не менее 40 кбар и до 900 °С).

В результате из содержащегося в породах корового углерода образовались алмазы, что подтверждается их «облегченным» изотопным составом. Позднее блок алмазоносных пород вновь поднялся на поверхность.

Морфология кокчетавских алмазов оказалась чрезвычайно разнообразной, при этом сами кристаллы могли располагаться как в пространстве между зернами минералов, слагающих породу, так и внутри самих минералов: в гранатах, флогопите, кварце и др.

Необычная природа метаморфогенных алмазов, также как и их высокое содержание в породе, привлекли большое внимание ученых. Геологоразведка показала, что запасы алмазов составляют здесь около 3 млрд каратов при ураганном содержании – до сотен каратов на тонну породы! Единственное «но» – размеры этих алмазов очень невелики (в среднем около 20 мкм), что позволяет использовать их только в технических целях. При этом технология добычи очень сложна, поэтому месторождение было признано нерентабельным.

Не исключено, что происхождение, подобное кокчетавским алмазам, имели и кристаллы из графитизированных перидотитов Оспинского массива в Восточном Саяне, найденные еще в 1930-е гг. (это были первые обнаруженные в СССР коренные алмазы). К сожалению, эта коллекция была утеряна в военные годы.

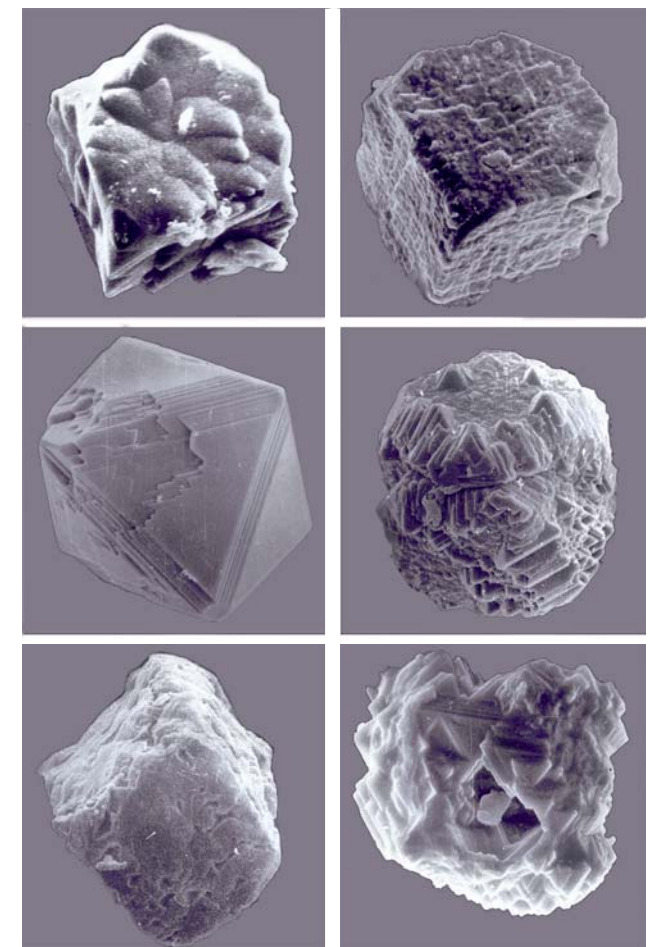
Отметим, что метаморфогенные алмазы не всегда могут выдержать подъем из земных глубин на поверх-

ность. В результате мы получаем так называемые *параморфозы* графита по алмазу, т. е. графит со всеми морфологическими признаками алмазов. Такие необычные образования обнаружены в разных регионах планеты (Испании, Марокко, на Урале и др.).

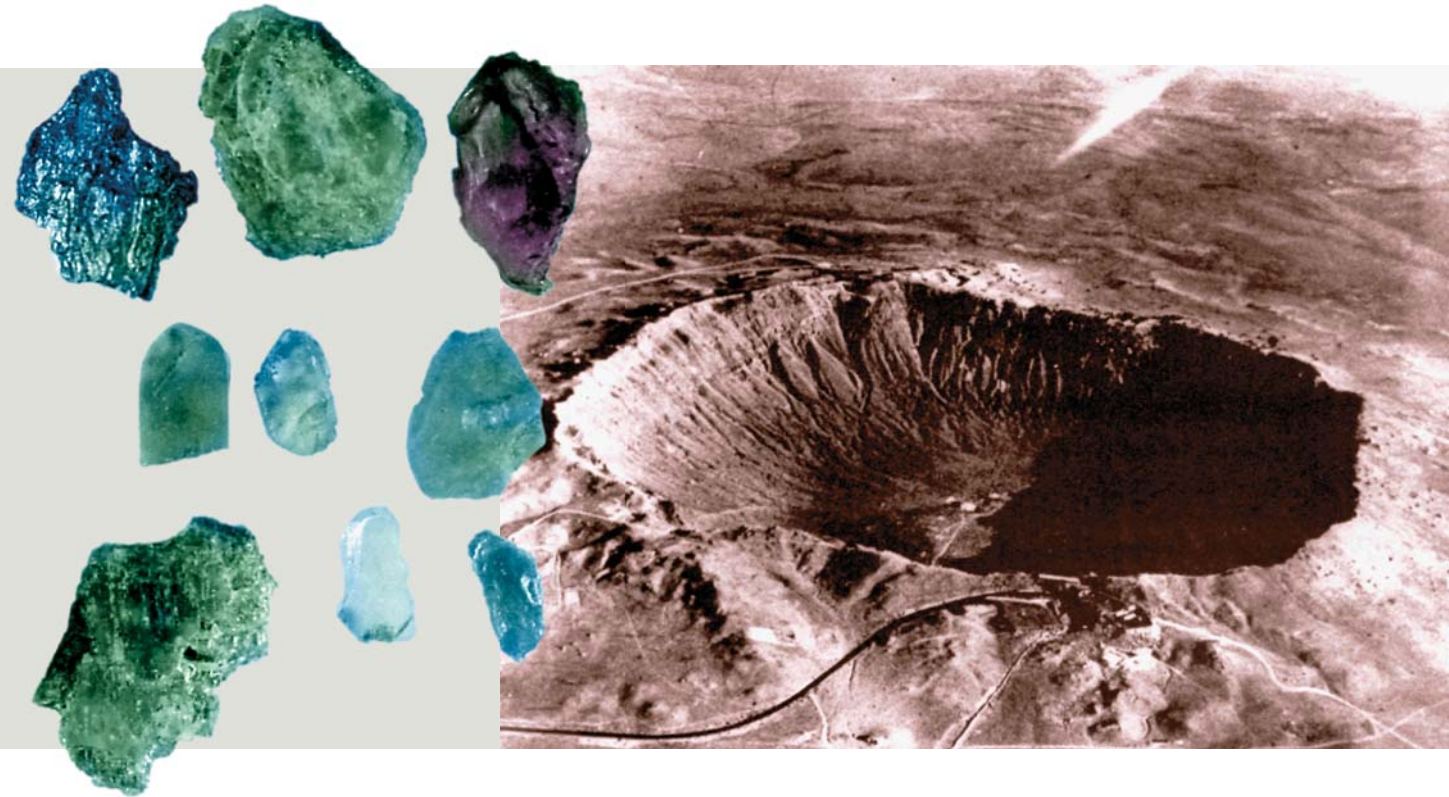
Посланцы небес

И все же, помимо вышеперечисленных, имеются еще более экзотические виды алмазоносных пород и алмазов, пусть и не имеющих промышленного значения. Пожалуй, наиболее необычными являются так

15 мкм



Среди характерных форм метаморфогенных алмазов из месторождения Кумды-Коль (Северный Казахстан) доминирует обычный для алмазов кубоид. Поскольку средние размеры кристаллов составляют лишь сотые доли миллиметра, их можно использовать только как абразивный материал. Электронная микроскопия. Фото А. Корсакова (ИГМ СО РАН, Новосибирск)

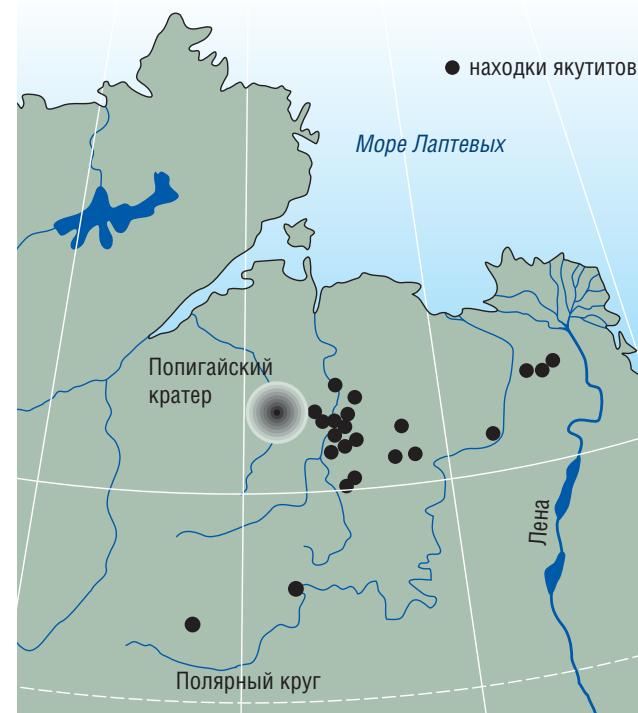


◀ Арizonский кратер (США), где в обломках железного метеорита найдены импактные алмазы.
Аэрофотоснимок Н.В. Соболева (ИГМ СО РАН, Новосибирск)

Карьер знаменитой якутской алмазоносной трубки Мир удивительно напоминает метеоритный кратер



▲ Якутиты – крупная фракция импактных алмазов, продукты дальнего закатерного выброса Попигайской астроблемы – обнаружены много восточнее самого кратера.
По: (Вишневецкий и др., 1997)



называемые *импактные* (от англ. *impact* – столкновение, удар) алмазы. Импактные процессы сопровождают высокоскоростные столкновения с планетами достаточно больших космических объектов (метеоритов или комет), в результате чего на поверхности планет образуются кратеры.

В настоящее время на Земле известно более 150 таких кратеров разного диаметра – от 100 м до 200 км и более. Один из наиболее крупных кратеров – астроблема Чиксулуб на п-ове Юкатан в Мексике – имеет диаметр 170 км и возраст около 65 млн лет. Предположительно, именно в это время, на рубеже мелового и палеогенового периодов, произошло грандиозное вымирание организмов, в том числе динозавров.

Возраст другого крупнейшего кратера – Попигайской астроблемы диаметром около 100 км у п-ова Таймыр – насчитывает около 35 млн лет. Планетарный катаклизм, вызвавший образование этого кратера, связывают с еще одним крупным вымиранием биоты в позднем эоцене.

Среди относительно «молодых» кратеров – Пучеж-Катунская астроблема недалеко от Нижнего Новгорода (80 км, 183 млн лет). Вообще, чем древнее кратер, тем сложнее доказать его космогенное происхождение, однако для некоторых подобных структур это сделано. Среди последних можно упомянуть астроблему Вредефорт в Южной Африке (1,97 млрд лет) и Садбери в Канаде (1,84 млрд лет).

При высокоскоростных столкновениях с планетой крупных метеоритов из углеродсодержащих веществ могут образовываться импактные алмазы

Глубокое преобразование вещества мишени при импактных процессах – *ударный метаморфизм* – обеспечивается главным образом за счет действия ударных волн, создающихся при высокоскоростном столкновении. Эти процессы характеризуются экстремальными параметрами, включая импульсные давления до 3 тыс. ГПа и более, а также остаточными постударными температурами до 30 тыс. градусов! В таких условиях из углеродистых веществ (графит, уголь) и рождаются специфические импактные алмазы.

Первые такие алмазы (их природа была установлена позже) обнаружили в 1888 г. в метеорите Новый Урей русские исследователи М. В. Ерофеев и П. А. Лачинов. Позднее импактные алмазы нашли и в обломках железного метеорита Арizonского кратера.

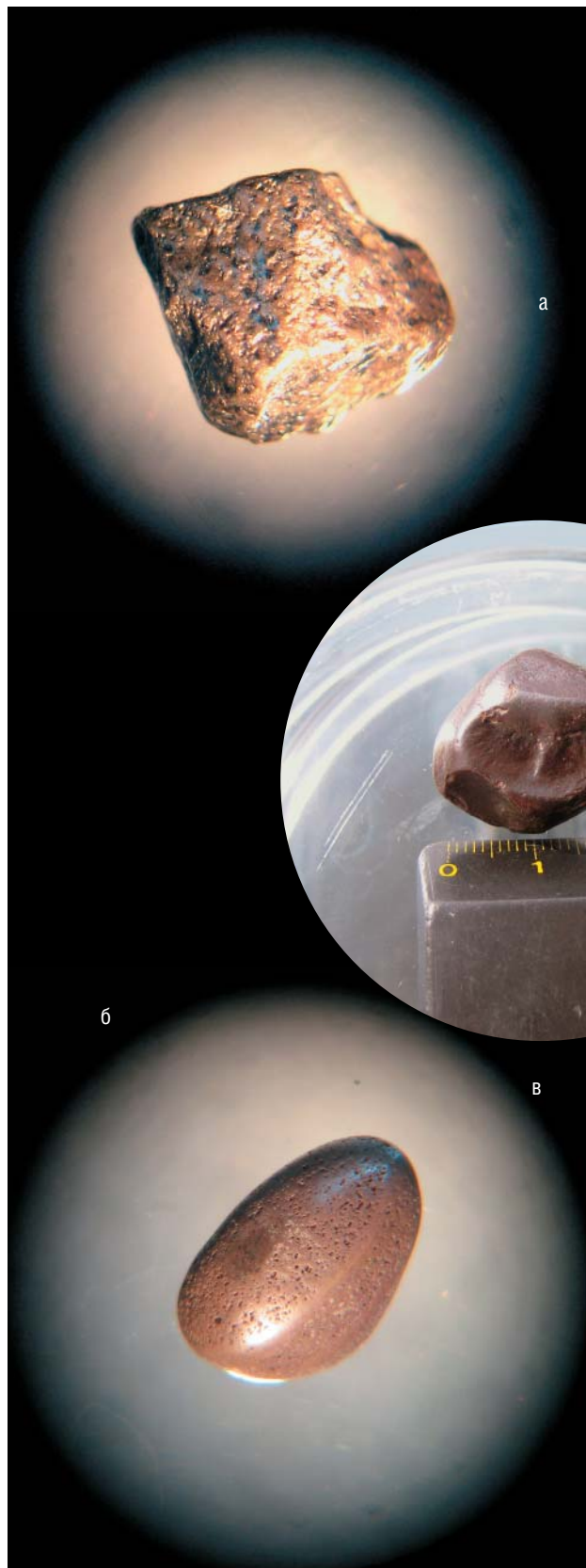
Первая находка импактных алмазов непосредственно в породе самого метеоритного кратера (Попигайской астроблемы) была сделана почти сто лет спустя также нашим соотечественником, геологом Л. Масайтисом. Впоследствии импактные кристаллы обнаружили и в ряде других кратеров, а также в осадочных породах за пределами кратеров, куда алмазы попадают в результате выброса породы в момент столкновения.

Импактные алмазы, представляющие собой параморфозы по исходному углеродистому веществу, наследуют некоторые особенности последнего, в частности морфологию графитовых частиц и изотопный состав углерода.

Что касается структуры, то это поликристаллические тонкозернистые агрегаты с размерами кристаллитов от нескольких нанометров до микрон. Сами зерна тоже невелики: например, в Попигайской астроблеме их размер колеблется в пределах 0,1–0,5 мм, очень редко достигая 10 мм (Вишневецкий и др., 1997).

Важнейшей особенностью импактных алмазов является присутствие в них *лонсдейлитовой фазы* – особой гексагональной модификации алмаза, характерной только для ударно-метаморфических процессов. Последняя неустойчива и при высокой температуре отжигается в кубическую. Имеются сведения, что эта модификация алмаза по прочности может значительно превышать обычную.

Энергетика такого импактного события, как, например, Попигайское, чрезвычайно высока. Так называемые *якутиты* – крупная фракция импактных алмазов размером до 1 см – обнаружены на расстоянии более 500 км от кратера. Чтобы пролететь такое расстояние, выбросы из кратера должны были иметь начальную скорость 2,2–2,4 км/с при углах наклона траектории 40–60°. А часть испаренного при столкновении ве-



щества предположительно имела в вертикальной струе скорость до 14,6 км/с! Таким образом, мельчайшее вещество, включая импактные алмазы, могло разнести воздушными потоками на огромные расстояния (Вишневецкий и др., 1997).

Количество алмазов, которые можно обнаружить в астроблемах, очень различается. Что касается перспектив промышленной разработки подобных месторождений, то, например, отдельные блоки той же Попигаийской астроблемы могли бы стать источником высококачественных технических алмазов. Однако удаленность и высокая себестоимость делают пока их добычу нерентабельной.

Пористые и волокнистые

Выше мы рассмотрели ряд более или менее изученных алмазоносных коренных источников. Однако в россыпях присутствуют и такие экзоты, чье происхождение до сих пор остается загадкой.

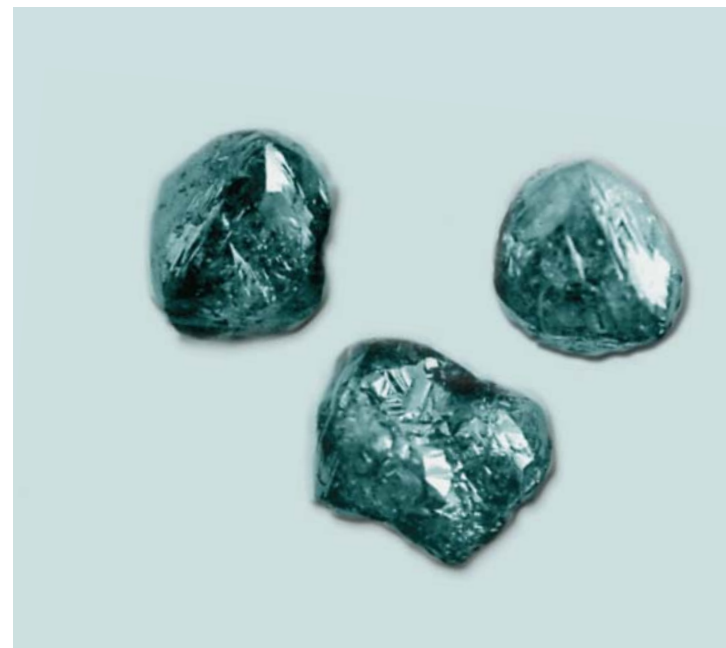
В первую очередь это уже упоминавшиеся *карбонадо* (от лат. *carbo* – уголь), которые добывались в россыпях Бразилии в первой половине XIX в. наряду с обычными алмазами. Помимо Бразилии карбонадо встречаются и на западе Африки; подобный ареал, очевидно, связан с распавшимся в мезозое праматериком Гондвана, где Африка и Южная Америка составляли одно целое.

«Угольные» алмазы представляют собой микрополикристаллические образования неправильной формы, часто сильно окатанные, черного, коричневого, бурого и серого цветов. Карбонадо насыщены посторонними силикатными и окисными минералами, которые с течением времени выщелачиваются, в результате чего алмаз становится пористым. Специфическая форма карбонадо заставляет предположить, что все они представляют собой фрагменты (обломки) одного крупного тела.

Узнать в этих невзрачных пористых булыжниках алмаз-карбонадо сможет только опытный взгляд. Предположительно все карбонадо представляют собой обломки одного алмазного тела, разрушившегося около 2 млрд лет назад. Самый крупный карбонадо (3167 карат, или 633 г) найден в 1905 г.

Типичные образцы карбонадо:
а и б – слабо окатанный и окатанный из Бразилии;
в – слабо окатанный из Гвинеи.

Фото автора



Кристаллы этих экзотических алмазов из россыпей междуречья Лены и Анабара, несмотря на явные проявления огранки, имеют радиально-лучистое строение с грубыми волокнами, выходящими из центра. Коренной источник их неизвестен.
По: (Афанасьев и др., 2000)

Существует много гипотез относительно образования этих алмазов. Возможно, блок земной коры с массивным высокоуглеродистым телом типа *шунгита* (древнего метаморфизованного каменного угля) погрузился в мантию в раннем протерозое, где подвергся действию глубинных факторов, а затем вновь поднялся на поверхность. Это, теперь уже «алмазное», тело подверглось эрозии, и его фрагменты отложились в россыпях.

Есть много сообщений о находках карбонадо в районах за пределами указанного, однако при этом используется лишь один критерий сходства – поликристаллическое строение, что явно недостаточно для надежной диагностики.

Не менее экзотические, чем карбонадо, алмазы были найдены в россыпях северо-востока Сибирской платформы (междуречье Анабара и Лены). Это довольно крупные (3–8 мм и более) кристаллы октаэдрического или додекаэдрического габитуса, переполненные черными включениями. Кристаллы имеют легкий изотопный состав углерода, указывающий на его коровое происхождение. Алмазы часто сильно окатаны, что косвенно указывает на древний (докембрийский) возраст их коренного источника.

Перечисление необычных разновидностей алмаза можно было бы продолжить. Но и уже сказанного достаточно, чтобы оценить все его природное разнообразие как по минералогическим особенностям, так и по происхождению.

Изотопный состав углерода значительной части алмазов свидетельствует о том, что их источником могли быть коровые породы, погруженные в мантию в процессе *субдукции* – поддвижения тонкой океанической коры под мощную континентальную литосферу.

Для алмазов, чей углерод имеет мантийное происхождение, пока нет четких представлений о механизмах их кристаллизации. Сегодня обсуждается и возможность кристаллизации природных алмазов в *метастабильных* условиях (в частности, для Кокчетавского массива), т. е. в условиях, когда они могут находиться в неизменном состоянии длительное время без перехода в графит. Но эта гипотеза требует привлечения слишком большого числа дополнительных условий, что делает ее практически нереальной.

Даже этот неполный обзор показывает, что геологи вынуждены выйти за рамки кимберлитовой парадигмы в отношении алмаза. И хотя взамен мы имеем пока только идею полигенности, логика научного поиска неизбежно приведет нас к новому пониманию происхождения и новым методам поиска этого не перестающего нас удивлять кристаллического углерода.

Литература

Афанасьев В. П., Ефимова Э. С., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. *Атлас морфологии алмазов России*. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000. – 293 с.

Вишневецкий С. А., Афанасьев В. П., Аргунов К. П., Пальчик Н. А. *Импактные алмазы: их особенности, происхождение и значение*. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 54 с. (рус., англ.)

Орлов Ю. Л. *Минералогия алмаза. 2-е издание*. М.: Наука, 1984. – 264 с.

Чепуров А. И., Федоров И. И., Сонин В. М. *Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования*. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 197 с.

В публикации использованы фотографии из архива К. П. Аргунова (Государственное хранилище ценностей Республики Саха)