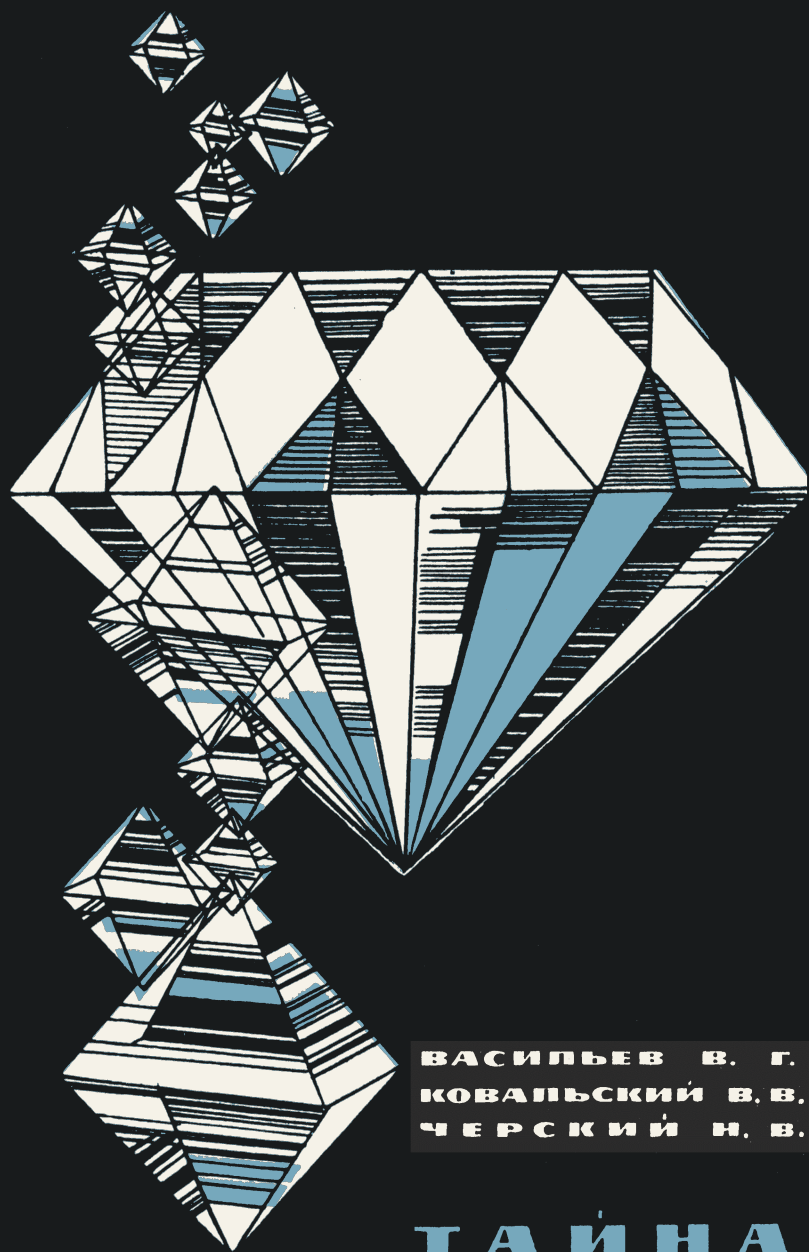


1967 • НАУКА О ЗЕМЛЕ • 1967



ВАСИЛЬЕВ В. Г.
КОВАЛЬСКИЙ В. В.
ЧЕРСКИЙ Н. В.

ТАИНА ОБРАЗОВАНИЯ АЛМАЗОВ

4 НОВОЕ В
ЖИЗНИ 
СЕРИЯ XIII

Кандидат геолого-минералогических наук

ВАСИЛЬЕВ В. Г.,

кандидат геолого-минералогических наук

КОВАЛЬСКИЙ В. В.,

доктор технических наук, профессор

ЧЕРСКИЙ Н. В.

Т А Й Н А ОБРАЗОВАНИЯ АЛМАЗОВ

Издательство «Знание» Москва 1967

Содержание

	<i>Стр.</i>
ИЗ ИСТОРИИ АЛМАЗОВ	3
НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОВ	4
ПОЛУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ АЛМАЗОВ .	6
ГЕОГРАФИЯ АЛМАЗОВ	8
СОВРЕМЕННЫЕ ГИПОТЕЗЫ О ПРОИСХОЖ- ДЕНИИ АЛМАЗОВ	13

Васильев Виктор Григорьевич
Ковальский Виталий Владимирович
Черский Николай Васильевич

ТАЙНА ОБРАЗОВАНИЯ АЛМАЗОВ

Редактор Н. Косаковская
Худож. редактор Т. Добровольнова
Техн. редактор Л. Дороднова
Корректор Н. Мелешкина
Обложка Б. Страхова

А 01994. Сдано в набор 1/II 1967 г. Подписано к печати 16/III 1967 г. Формат бум. 60×90/16. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 2,16. Тираж 35 000 экз. Издательство «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 423. Типография изд-ва «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 6 коп.

2-9-4

Б/З № 6 и № 14 за 1967.

Из истории алмазов

История алмаза, как драгоценного камня, начинается в темных лабиринтах глубокого прошлого. Наши предки, вероятно, познакомились с ним еще в эпоху первых открытий, таких, как изобретение лука, стрел, лодки, глиняного кувшина и других, не менее знаменательных предметов.

Старинные легенды, древние письма, археологические раскопки рассказывают о том, что уже около пяти тысяч лет назад, на заре рабовладельческого строя алмаз применялся в качестве украшений. О глубокости древности находок алмаза свидетельствует и его название, происходящее от арабского слова «адамас» — непобедимый, несокрушимый и столь же древневосточное происхождение названия весовой меры алмаза — карата, равной одной пятой грамма. Почти за две тысячи лет до нашего времени люди научились обтачивать алмаз его же пылью и мелкими осколками. Такой искусственно ограненный алмаз дает лучшую «игру» света, часто выглядит окруженным радужным сиянием и называется бриллиантом.

Вплоть до XVIII века основным поставщиком алмазов была Индия. Из этой сказочной страны в сокровищницы богачей всего мира поступали крупные камни различной воды или цвета. Многие из них имеют свои собственные имена и истории, нередко более трагические и богатые приключениями, чем измышления самых выдающихся фантастов.

К числу таких знаменитых алмазов относится весящий 88,7 карата «Шах», который хранится в Государственной сокровищнице Советского Союза. Он был найден в Индии в 1591 г., полтора столетия назад находился во владении Великих Моголов, в 1739 г. этим камнем завладевает шах Надир и увозит его в Персию. Наконец, в 1829 г. алмаз попадает в Россию в качестве возмещения за убийство А. С. Грибоедова. Цена камня, по мнению правителей Персии, окупала смерть выдающегося русского писателя и дипломата.

Самый крупный из найденных в Индии алмазов известен под названием «Орлов». Его вес до огранки определяется примерно в 400 каратов, а в виде бриллианта — в 194,8 карата. Этот всемирно известный драгоценный камень был найден в Голконде (Индия) в начале XVII столетия и после огранки получил название «Дерианур» (Море света). Академик А. Е. Ферсман, исследовавший бриллиант, предполагает, что название «Великий Могол» также связано с этим камнем. В истории «Дерианура» или «Великого Могола» многое покрыто мраком неизвестности. В 1738 г. «Дерианур» стал украшением трона шаха Надира, а в 1773 г. он попадает в Петербург, где Григорий Орлов вручает бриллиант Екатерине II. С этого времени он называется «Орлов». В настоящее время этот замечательный бриллиант хранится в Государственной сокровищнице нашей страны.

Самый большой в мире алмаз — «Куллинан» был найден в 1905 г. в Южной Африке, весил он до огранки 3025 каратов, или 605 г (по данным И. И. Шафрановского, 3106 каратов). Из этого крупного обломка впоследствии сделали несколько больших бриллиантов.

В XVIII веке крупным поставщиком алмазов становится остров Калимантан (Борнео). Затем на мировой рынок выходит Бразилия, вслед за ней Австралия и в конце XIX века — Южная Африка.

До начала XX столетия алмазы использовались почти исключительно для получения бриллиантов и составляли предмет валютного дохода. В этой связи представляет интерес расчет, сделанный немецким профессором Батеманом для ювелирных — валютных камней: алмазы стоимостью 10 млн. долларов могут быть перенесены одним человеком, тогда как золото на эту сумму будет весить 12 т.

За последние десятилетия алмазы в силу их уникальных физических свойств получили самое широкое применение в различных областях производства. Это обусловило бурный рост мировой добычи алмазов и организацию их синтетического производства в промышленных масштабах.

Рост добычи естественных алмазов в капиталистических странах характеризуется следующими данными.

В 1914 г. было добыто около 5 тыс. каратов, в 1929 г. добыча алмазов составила 7500 тыс. каратов, в 1940 г. она возросла до 14 285 тыс., в 1960 г. — до 26 700 тыс., а в 1963 г. составила 30 700 тыс. каратов.

Производство искусственных алмазов, до конца 50-х годов не выходявшее за стены исследовательских лабораторий, уже в середине 60-х годов превысило 10 млн. каратов и имеет четкую выраженную тенденцию дальнейшего роста.

Впервые алмазы в россыпях реки Виллой были найдены Г. Х. Файнштейном в 1949 г., но знаменательной датой в истории алмазодобывающей промышленности Советского Союза следует считать 1954 г., когда была открыта первая кимберлитовая алмазоносная трубка Якутии, названная «Зарницей». Это красивое название оказалось символическим, ибо знаменовало начало находок многих жемчужин — трубок в ожерелье ныне всемирно известной Якутской алмазоносной провинции.

Наряду с бурным ростом добычи природных алмазов в нашей стране успешно осуществляется в промышленных масштабах искусственный синтез алмазов, также находящихся широкое применение в производстве.

Таким образом, за последние полвека в «жизни» алмаза произошли коренные, принципиальные изменения. Из камня-сибарита, ласкавшего причудливой игрой света взоры богачей, воспетый поэтами алмаз превратился в камень-труженик. Он помогает в кратчайшие сроки обрабатывать самые твердые материалы, позволяет проникать в глубины земной коры, получать тончайшую проволоку и многое другое

Некоторые физические и химические свойства алмазов

Что же представляет собой этот замечательный камень, каковы его физические свойства и химический состав, в каких лабораториях природы он зародился и где его искать?

На большинство этих вопросов современная наука дает исчерпывающие ответы. Алмаз является кристаллической разновидностью углерода и по химическому составу ничем не отличается от графита. Однако в связи с различиями в строении кристаллической решетки, эти двойники по химическому составу не имеют никакого сходства по своим физическим свойствам.

Графит — это темный, с металлическим блеском, жирный и пластичный материал, обладающий способностью легко расщепляться и прилипать к твердым поверхностям. Такие свойства графита обуславливают его широкое применение в качестве смазки, для изготовления огнеупорной посуды, карандашей, красок и т. п. Удельный вес графита 2,23, температура плавления 3800—3900°C.

Природный графит образуется в результате изменений и перекристаллизации органических веществ, главным образом каменных углей, при застывании богатых углеродом магм, а также при взаимодействии известняков с прорвавшимся из недр земли магматическим расплавом. Искусственным путем графит получают из угля, который хотя и не обладает кристаллической структурой, но также является аллотропной¹ формой углерода и по праву может называться родным братом естественного графита и алмаза.

От своих скромных и невзрачных собратьев алмаз отличается не только блестящей внешностью. Он значительно тяжелее их. Кристаллы алмазов имеют форму правильных многогранников, среди которых преобладают октаэдры (восьмигранники).

Алмазы обычно бывают окрашены в различные оттенки, чаще всего желтого и черного цвета с неравномерным распределением окраски в камне. Лишь изредка встречаются прозрачные бесцветные или окрашенные в ровные голубые, синие и другие тона кристаллы; они называются ювелирными алмазами и после шлифовки превращаются в бриллианты.

В общей массе добываемых алмазов доля таких кристаллов не превышает 5—6%, а все остальные относятся к категории технических и используются в промышленности.

В результате нагрева при определенных условиях алмаз сравнительно легко переходит в графит. Самой важной отличительной особенностью алмаза является его непревзойденная твердость. Алмаз — самый твердый материал среди всего, что создано природой или руками человека. Если судить о твердости по скорости истирания или сошлифовки вещества, то твердость алмаза в 1000 раз превышает твердость кремня, в 150 раз — корунда и в десятки раз выше твердости самых прочных сплавов, применяемых в технике. Этим замечательным качеством и определяются главным образом значение и роль алмазов в производстве.

Применение армированных² алмазами инструментов в горной и металлургической промышленности резко улучшает качество изделий, а главное — в десятки и сотни раз повышает производительность труда. При бурении скважин в твердых окремненных породах алмазный бур в десятки раз увеличивает скорость проходки по сравнению с долотами из самого твердого сплава.

Применение алмазных фильеров³ для получения тонкой проволоки из различных металлов дает настолько высокую производительность, что

¹ Аллотропия — существование одного и того же химического элемента в виде двух или нескольких простых веществ; эти последние называются аллотропными формами или модификациями. Например, углерод существует в трех аллотропных формах — угля, графита и алмаза.

² Армировать — повышать прочность одного материала механическим соединением с другим.

³ Алмазные фильеры — просверленные алмазы, применяемые в промышленности.

стоимость самих алмазов и их обработки окупается через несколько часов работы.

Если инструментом из самых твердых сплавов можно обработать 40 деталей из магниевой бронзы, то алмазный резец в состоянии обработать 3 тыс. таких же деталей, или почти в 80 раз больше. При обработке сплавов с большим содержанием кремния это соотношение выражается уже как 6 к 30 тыс. и показывает, что алмазный резец может обработать в 5 тыс. раз больше деталей, чем резец, сделанный из твердого сплава.

Огромный эффект дает применение алмазных инструментов при обработке твердого каучука, различных пластмасс, при обточке точильных и шлифовальных кругов из корунда и других твердых материалов. Алмаз становится незаменимым инструментом при изготовлении приборов высокой точности, ибо только он может обеспечить требующуюся здесь особую тщательность обработки.

Получение искусственных алмазов

Дороговизна алмазов, их ограниченные природные запасы, постоянно возрастающий спрос — все это заставляло ученых усиленно работать над проблемой искусственного получения алмазов.

Производство искусственных алмазов имеет двоякое значение. Прежде всего оно решает главную задачу обеспечения растущих потребностей промышленности в алмазных инструментах, роль и эффективность применения которых трудно переоценить.

Наряду с этим накопленный опыт получения алмазов в физических лабораториях и на заводах, несомненно, поможет ученым решить проблему происхождения алмазов в естественных условиях, в лабораториях, созданных самой природой, на различных этапах развития и становления земной коры.

Анализируя многочисленные опыты по искусственному синтезу алмазов, можно выделить три главных направления, по которым шли исследователи:

1. Кристаллизация алмаза из раствора углерода в расплаве металла.
2. Каталитическое образование алмаза из графита.
3. Прямая перестройка кристаллической решетки графита в алмазную в связи с каталитическим действием металла.

Первые попытки получения искусственных алмазов датируются 1880 г., когда шотландскому ученому Хэннею удалось получить несколько мелких кристаллов, определенных некоторыми специалистами как новая, не встречающаяся в природе разновидность алмаза. Возможно, что на проведение этих опытов оказали существенное влияние исследования русско-

го ученого В. Н. Каразина, получавшего твердые и тугоплавкие вещества из углеводородов¹.

В широко известных опытах французского химика А. Муассана для получения алмазов использовался углерод, выделявшийся из перенасыщенного расплава железа, графита, уголекислоты и некоторых других соединений. В специальном автоклаве такая смесь нагревалась до температуры 900—1100°C и в течение 2—3 минут находилась под давлением 15 тыс. *атм*. Размеры полученных Муассаном кристаллов не превышали 0,7 мм, но их тождество с алмазами остается недоказанным.

Некоторые ученые пытались получить алмазы из газообразного углерода путем разложения ацетилена в вольтовой дуге, четыреххлористого углерода над алюминием и другими способами, но все они не дали желательного эффекта. Неудачей окончились и опыты по получению алмазов из угля при плавлении последнего под давлением до 10—12 тыс. *атм*.

По мнению советского ученого О. И. Лейпунского, искусственный синтез алмазов возможен при таких давлениях, когда алмаз является более устойчивой фазой, чем графит, и при таких температурах, при которых происходит перестройка кристаллической решетки графита и его переход в алмаз. Минимальные значения температуры и давления, необходимые для образования алмазов, определяются О. И. Лейпунским соответственно в 1500—1700°C и 50—55 тыс. *атм*. Эти теоретические обобщения и прогнозы советского ученого получили подтверждение в работах исследовательских институтов США, занимавшихся проблемой производства искусственных алмазов.

В зарубежной печати приводятся сравнительно детальные описания оригинальной конструкции автоклава для получения алмазов при статическом давлении до 100 тыс. *атм* и при температуре 2500° и сообщается ряд интересных сведений по технологии искусственного синтеза алмазов на предприятиях фирмы «Дженерал электрик».

Оригинальное направление имеют исследования Странфордского научно-исследовательского института (Калифорния), где алмаз получают из графита, используя давление, образуемое взрывом. Графит помещают в сосуд с водой и над ним взрывают заряд. В течение микросекунды графит подвергается давлению в 300 тыс. *атм*. От 5 до 10% графита преобразуется в алмазы поликристаллической структуры, диаметром до 40 микрон. Ведутся дальнейшие работы с целью получения более крупных алмазов. В Голландии также вместо статического давления в процессе синтеза алмазов используется сверхвысокое динамическое давление. Сущность процесса заключается в создании такого давления путем направленных взрывов. Образовавшаяся в результате взрыва волна со скоростью до 50 км/сек действует на графит, помещенный в контейнер. Из контейнера выбиваются алмазные кристаллы, в которые графит преобразовался под влиянием давления и температуры взрыва.

Установлено, что скорость роста кристаллов алмаза резко увеличивается с повышением температуры и может достигать 1 мм в секунду. Наблюдается также влияние температуры на форму и окраску алмазов. Чем выше температура среды, тем светлее окраска кристаллов, которые при этом получают форму правильных октаэдров.

Искусственные алмазы по своим физическим свойствам и механической характеристике не уступают естественным, но все они, как правило, значительно меньше карата, что ограничивает область их применения в промышленности.

В промышленных масштабах синтетические алмазы производятся в США. В Англии, Швеции, Франции, Японии, ЮАР, Бельгии, Голландии и ФРГ также имеются установки по искусственному синтезу алмазов, но масштабы их производства неизвестны.

Не так давно советскими учеными найдено новое и оригинальное ре-

¹ И. И. Шафрановский, Алмазы. «Наука», 1964, стр. 127.

шение задачи искусственного получения алмазов, на базе которого в последние годы в нашей стране организовано их промышленное производство в крупных масштабах.

Честь этого крупнейшего открытия, сделанного в стенах Института физики высоких давлений АН СССР, принадлежит Герою Социалистического Труда, академику Л. Ф. Верещагину и его ученикам.

Мы говорили уже, что разгадка условий образования искусственных алмазов ускорит решение проблемы генезиса алмазов в земной коре.

Это становится очевидным, если учесть, что уже теперь наука располагает целым рядом важных сведений, полученных при искусственном синтезе алмазов. К таким сведениям прежде всего относятся данные о верхних и нижних пределах температуры и давления, определяющих термодинамические условия алмазообразования. Кроме того, производство искусственных алмазов позволило накопить важные сведения о роли катализаторов, т. е. стимуляторов процесса образования и роста кристаллов.

Опираясь на эти новые достижения физики и химии и сочетая их с уникальным материалом по геологии алмазов, полученным в результате изучения Якутской алмазоносной провинции, советские геологи продолжают работать над решением проблемы естественного синтеза алмазов.

В нашей стране наряду с увеличением добычи алмазов, совершенствованием технологии их извлечения и строительством новых фабрик большая работа проводится по поискам новых алмазных месторождений. В этой области также достигнуты значительные успехи. Появились и внедряются новые, прогрессивные методы выявления кимберлитовых трубок. Разведчики при поисках алмазов широко применяют и умело используют различные геофизические методы. Выявлены поисковые критерии, облегчающие открытие трубок и алмазных россыпей. Каждый год приносит десятки новых открытий, обогащает разведчиков и ученых новыми уникальными материалами по геологии кимберлитовых пород.

Научное обоснование проблемы происхождения алмазов имеет огромное значение прежде всего для выявления закономерностей пространственного их размещения. Известно, что выявление этих закономерностей служит основой для организации высокоэффективных поисков новых месторождений алмазов. Поэтому вполне естественно, что многочисленные исследователи, по мере накопления новых данных об условиях образования алмазов в земной коре, а также по искусственному их изготовлению, обращаются к проблеме генезиса алмазов.

Накопленный экспериментальный материал по искусственному синтезу алмазов показывает, что для кристаллизации углерода в алмаз требуется высокая температура и давление, превышающее 45—50 тыс. атм. В обычных условиях развития земной коры на глубинах до 40—50 км, откуда еще возможно перемещение магмы в верхние слои земной коры, появление таких давлений исключается.

География алмазов

В природе алмазы встречаются в горных месторождениях, где они находятся в породе, послужившей материальной средой для их образования, или в виде россыпей. Выходы материнских алмазосодержащих горных пород зрительно воспринимаются как неправильная окружность и имеют диаметр от 50 до 800 м. Сложенные этими породами

тела почти вертикально уходят в глубь земли. В силу своего сходного с цилиндром строения такие формы залегания алмазосодержащих пород получили название трубок, а заполняющая их магнезиальная масса по наименованию местности (Кимберли), где нашли первую трубку, стала называться кимберлитом.

Очевидно, что в россыпях алмазы появились в результате разрушения коренных месторождений процессами выветривания и переноса разрушенной породы потоками воды. В ходе этого процесса стойкие к истиранию алмаз и его спутники могли отлагаться за сотни километров от коренных источников. Россыпные месторождения всегда сопутствуют коренным, но далеко не всегда кимберлитовые трубки известны там, где есть россыпи алмазов.

Алмазы в СССР

Первые упоминания о находках алмазов в низовьях реки Днепр найдены в рукописях XVI и XVII века. Достоверной датой открытия алмазов на территории России следует считать 1829 г., когда на Урале были найдены эти драгоценные камни.

В самом начале XX века житель Архангельской губернии крестьянин-рудознатец Иона Попов нашел несколько алмазов на реке Мезенская Пижда. Царское правительство не обратило внимания на эти находки и ничем не помогло рудознатцу. Совсем недавно в тех же краях, в районе древнего Тиманского кряжа по притокам реки Печоры геологи обнаружили еще шесть алмазов. Но имеющих промышленную ценность скоплений этого важнейшего полезного ископаемого там пока не найдено.

За годы Советской власти на Урале были созданы алмазодобывающие предприятия, поставляющие небольшое количество алмазов высокого качества. В самое последнее время на севере Урала, в бассейне реки Вишеры, открыты новые россыпные месторождения, имеющие промышленное значение. Несмотря на длительные и детальные поиски, алмазы в коренном залегании (кимберлитовые трубки) на Урале не обнаружены.

Первые сведения о находках алмазов на северо-западе Якутии появились еще в 20-х годах нашего века. Они были сделаны местными охотниками случайно. О таких находках, в частности, сообщал широко известный в Якутии вилюйский краевед П. Х. Староватов.

Но эти важные открытия остались незамеченными, а сведения о них до последнего времени мирно покоились на полках архивов.

Тем не менее открытие якутских алмазов не было случайностью. Так, еще накануне второй мировой войны, независимо от упомянутых находок, советский ученый академик В. С. Соболев, исходя из общегеологических предпосылок, высказал научно обоснованное предположение об алмазности западных районов Якутии. В своих исследованиях В. С. Соболев установил сходство геологического строения богатой алмазами Южно-Африканской платформы с известной геологам в качестве «белого пятна» восточной частью Сибирской платформы. Смелый прогноз ученого получил блестящее и убедительное подтверждение. В бассейне реки Вилюй в 1949 г. были открыты россыпные месторождения, а затем в 1954 г. коренные месторождения алмазов. Эта находка привела к открытию крупнейшей алмазоносной провинции в Якутии.

Уже через десятилетие первоначально намечавшиеся границы Якутской алмазодобывающей провинции значительно расширились и в настоящее время охватывают огромную территорию на западе Якутской АССР (рис. 1).

За этот же период было найдено большое количество кимберлитовых трубок в том числе и трубки с промышленным содержанием алмазов. Перспективы дальнейшего развития бурно растущей алмазодобывающей промышленности Якутии базируются на трех ныне всемирно известных коренных месторождениях: «Мир», «Айхал» и «Удачная». В настоящее время крупнейшим центром алмазодобычи в Якутии является трубка «Мир», расположенная в бассейне правого притока Вилюя — реки Малая Ботуобия. За несколько лет среди океана якутской тайги вырос благоустроенный город алмазников — Мирный. Над вершинами столетних лиственниц поднялись железобетонные глыбы рудничных зданий. Здесь добываются якутские алмазы. Среди массы незаметных кристаллов выделяются своим великолепием крупные ювелирные камни. У якутских алмазников есть славная традиция присваивать собственные имена крупным ювелирным камням, дата извлечения которых совпадает со значительными событиями в жизни нашей страны. Так появились: замечательный нежноголубоватый камень весом 51,5 карата, названный «Валентина Терешкова», в честь первой женщины-космонавта, алмаз «Предпраздничный» (45,7 карата), алмаз «Первенец семилетки» (37,3 карата), «Горняк» (45 каратов) и многие другие. Самый крупный в Советском Союзе камень «Мария» (105 каратов) найден в конце 1966 г.

В 100 км от Мирного на реке Вилюй впервые в условиях вечной мерзлоты завершается строительство крупной гидроэлектростанции. С ее пуском алмазодобывающая промышленность получит дешевую электрическую энергию. В районе Мирного появились новые предприятия промышленности и сельского хозяйства. Глухие таежные распадки зацвели электрическими огнями.

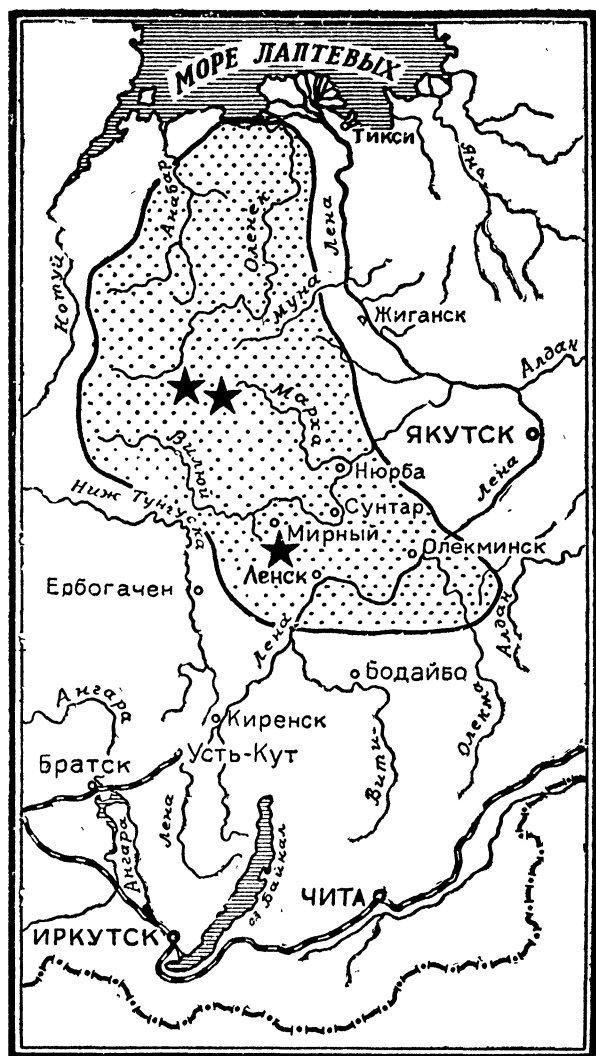
В трубке «Мир» алмазосодержащая порода залегает у самой поверхности. Такие месторождения полезных ископаемых обычно разрабатывают открытым способом, что экономически очень выгодно.

Как и во всех африканских трубках, алмазы месторождения «Мир» вкраплены в кимберлитовую породу. Эта порода представляет собой смесь обломков, образовавшихся при формировании взрывного канала (жерла) и кимберлитовой расплавленной магмы, выдавленной из очага и сцементировавшей эти обломки. В отличие от породы, образовавшейся при застывании свободной от обломков кимберлитовой магмы, называемой интрузивным кимберлитом, такая смесь обломков и магмы называется кимберлитовой брекчией. Обломки различных пород, содержащихся в кимберлитовой брекчии, носят название ксенолитов.

Вместе с алмазами в брекчии находятся такие сопутствующие минералы, как магнезиальный гранат — пироп, муассанит, оливин, ильменит и др. Первые два минерала образуются при очень высоких давлениях и температуре, но меньших, чем это нужно для возникновения алмаза.

Интересно отметить, что по мере удаления от поверхности содержание алмазов и естественный состав брекчии почти не изменяется. Это важное обстоятельство значительно облегчает оценку промышленных запасов алмазов в кимберлитовых трубках.

Технология переработки кимберлитовой породы и извлечения алмазов сводится к следующему. Крупные обломки породы из раздробленной плотной массы доставляются на обогащательную фабрику. Здесь происходит их дальнейшее размельчение, а затем в специальных приборах отделение тяжелых частиц (удельного веса больше 3 г/см^3), к числу которых относятся алмаз и его спутники. Извлечение алмазов из смеси тяжелых минералов осуществляется различными способами. К их числу относится применение ручного отбора крупных кристаллов, использование рентгеновских и люминесцентных установок и др. Для улавливания мелких кристаллов применяется электромагнитная сепарация и специаль-



Якутская алмазоносная провинция



Главные коренные месторождения

Рис. 1. Схема Якутской алмазоносной провинции.

пые установки, где алмазы, попадая на смазанную специальным жиром поверхность, прилипают к ней, а частицы других пород уносятся потоком дальше.

Алмазные месторождения зарубежных стран

Основным поставщиком природных алмазов в капиталистическом мире является африканский континент. На долю африканских стран приходится около 98% всей добычи алмазов.

В африканской алмазоносной провинции широко распространены как коренные, так и россыльные месторождения алмазов. Кимберлитовые трубки в основном сосредоточены на территории ЮАР и в прилегающих к ней районах. Количество найденных трубок исчисляется сотнями, но алмазоносными оказались только 10%, а трубки с промышленным содержанием алмазов исчисляются единицами. В ЮАР находятся всемирно известные алмазоносные трубки «Премьер», «Ягерсфонтейн», «Кимберли», «Де-Бирс», «Дютйтспен» и др.

Богатейшие россыпные месторождения алмазов известны на территории республики Гана, а также в Конго (Киншаса), Танзании, Гвинее и других странах Африки.

Запасы алмазов только по Конголезскому алмазоносному району достигают 500—550 млн. каратов, а в целом по африканской алмазоносной провинции они определяются миллиардами каратов. Содержание алмазов в кимберлитовых породах трубок, как правило, не превышает 1—1,5 карата на 1 м³ породы. В россыпях концентрация алмазов нередко достигает 15—20 каратов на 1 м³ породы, а в уникальных месторождениях в бассейне реки Оранжевой в полосе галечника, протяженностью до 400 м, добывали в среднем 50—100 каратов на кубометр породы.

Для разгадки природы образования алмазов большое значение имеет следующий факт. В некоторых странах Африки известны многочисленные и богатые алмазами россыпи, но коренные месторождения, несмотря на детальные поиски, не обнаружены. Так, на территории таких известных поставщиков алмазов, как Гана, Берег Слоновой Кости, Центрально-Африканская Республика и др., коренные источники до сих пор неизвестны.

Все кимберлитовые трубки Африки расположены на площади великого траппового поля, образовавшегося 150—200 млн. лет назад.

На поверхности земли и на различной глубине здесь на сотни километров протянулись мощные поля застывшей базальтовой магмы, поступавшей по трещинам с больших глубин. Потоки лавы, поднимаясь вверх и далеко разливаясь по площади, прорвали, перекрыли и переработали мощные пласты углей, образовавшихся до начала магматической деятельности. Под такой броней застывшей магмы, не находя выхода, естественно, накапливались различные газы, образовавшиеся при нагреве углей и принесенные магмой из глубин земли. Прошли многие тысячелетия, и над просторами Африки снова загремели мощные залпы вулканических взрывов. Взрывы газов, пробивая броню базальтовых пород, сформировали огромные жерла, по которым вслед за этими газами двигалась кимберлитовая магма, несущая в себе алмазы. Снова наступило затишье, земля залечивала свои раны. Обезображенная поверхность покрывалась нежным зеленым пологом буйной тропической растительности. Участки суши, таящие в себе кладовые сокровищ, медленно поднялись над окружающим пространством. И начали действовать новые силы — ветер, воздух и вода. Под их действием сравнительно мягкие кимберлитовые породы разрушились, потоки воды унесли алмазы и спрятали их в потаенных местах на пониженных участках рельефа.

На южноамериканском материке первые алмазы были найдены в Бразилии в начале XVIII века. Ежегодная добыча алмазов составляет 350—400 тыс. каратов, в том числе 30—50% ювелирных. Все известные россыпные месторождения сосредоточены в бассейнах северных притоков рек Амазонки, Сан-Франциско и некоторых других. Коренных месторождений здесь, как и в других странах Южной Америки, не найдено.

В Венесуэле, Боливии, Эквадоре в небольших количествах также добываются алмазы из россыпей. Второе место после Бразилии занимает Гвиана, где ежегодно добывается около 100 тыс. каратов.

В США из найденных здесь коренных месторождений в штате Арканзас с 1912 по 1961 г. было добыто около 12 тыс. каратов.

Геологическая история и условия формирования кимберлитовых тел в США имеют большое сходство с уже приведенной схемой образования кимберлитовых трубок Африки. В пограничных с Канадой северных штатах известны отдельные находки ювелирных алмазов.

Австралийская алмазоносная провинция охватывает обширную территорию вдоль восточного побережья Австралии в штатах Квинсленд, Новый Южный Уэльс, Виктория и простирается в пределы острова Тасмания. Здесь известны только сравнительно бедные россыпные месторождения алмазов. Ежегодная добыча не превышает нескольких тысяч каратов. Коренные месторождения пока не обнаружены, хотя сходные с кимберлитами породы найдены геологами на юге материка.

Алмазы из россыпных месторождений Индии добывают на протяжении многих столетий. Индия — родина знаменитых бриллиантов, но в XX веке в списке поставщиков алмазов она занимает более чем скромное место. За последнее десятилетие ежегодная добыча алмазов в Индии не превышала 2 тыс. каратов. Недавние открытия кимберлитовых трубок в районе Панна, возможно, будут способствовать возрождению былой славы Индии на мировом алмазном рынке. Такое предположение подтверждается планами разработки месторождений «Рамкхирвэ» и «Маджхгавана».

Не в лучшем положении находится и другой, широко известный в XVIII веке поставщик алмазов — остров Калимантан (Борнео). В настоящее время здесь известно только несколько мелких россыпных месторождений в долине реки Содонг.

Отдельные находки алмазов, имеющие чисто научное значение, известны и в ряде других стран. Так, алмазы обнаружены в северных районах Чехословакии. Некоторые ученые предполагают существование промышленных скоплений алмазов в Богемии. Исследования покажут состоятельность этих смелых прогнозов.

Суммируя известные данные о распределении и запасах алмазов в различных географических и геологических провинциях земного шара, можно сделать вывод о крайне ограниченном распространении этого самого твердого вещества на нашей планете.

Современные гипотезы о происхождении алмазов

Первые научно обоснованные гипотезы о генезисе алмазов еще во второй половине XIX века были высказаны геологами, изучавшими африканские кимберлитовые трубки. Так, анализируя факт прорыва кимберлитовой магмой толщи угленосных отложений в первой африканской трубке Кимберли, ученые пытались объяснить происхождение

ние алмазов как результат непосредственного воздействия магмы на пласты углей, обломки которых находили внутри заполняющей трубку кимберлитовой породы в виде ксенолитов. Кроме того, в ряде других трубок находились многочисленные обломки углистых сланцев, что подкрепляло приведенную гипотезу. Однако после открытия трубок, не содержащих углистых включений, а также безалмазных трубок, богатых углистым материалом, эту теорию признали несостоятельной.

По мнению южноафриканского геолога Добрэ, алмазы принесены в трубки из очагов, находящихся на глубине порядка 150 км в перидотитовом слое Земли.

Другой южноафриканский геолог — Боннэй и некоторые другие геологи полагают, что алмазы образовались в особой эклогитовой магме на большой глубине и в кимберлиты попали случайно. В качестве довода в пользу отсутствия генетической связи между алмазами и кимберлитами приводятся малоубедительные случаи отдельных находок алмазов в гранат-диопсидовых включениях.

В настоящее время большинство исследователей считает алмазы первичной составной частью кимберлитов, но расходится во взглядах относительно места их образования. По мнению известного знатока алмазных месторождений Африки А. Вильямса, алмазы выкристаллизовались в расплавленной массе, по-видимому, где-то у верхней границы перидотитового слоя. По данным современных геофизических исследований, это соответствует глубинам от 40 до 60 км.

Обобщая эти предположения, построенные на материалах исследования южноафриканских коренных алмазных месторождений, автор капитального научного труда «Геология Южной Африки» (1957) А. Дю Тойт разделил их на две группы. В трактовке первой — материнской средой алмаза считаются эклогиты, являющиеся, как и кимберлиты, ультраосновными породами (бедными кремнеземом и богатыми магнием), но резко отличающиеся от последних по своему строению и минеральному составу. В случае прорыва этих пород кимберлитовая магма захватывает обломки эклогитов вместе с содержащимися в них алмазами. С позиций сторонников такой гипотезы алмаз — случайный узник в чуждой для него кимберлитовой среде. Отметим, что рассматриваемая концепция основана на единичных находках алмазов в обломках эклогитов из алмазоносных кимберлитовых трубок.

Другая точка зрения, наоборот, утверждает, что алмаз является составной частью кимберлита и выкристаллизовался из кимберлитовой магмы на глубине или внутри расплавленной массы, поднимающейся по трещинам в земной коре.

По мнению А. Дю Тойта, в пользу этой гипотезы говорят следующие факторы: наличие многочисленных микроскопических зерен алмаза в основной массе кимберлита; значительное различие алмазов в соседних трубках или в различных частях одной и той же трубки; наличие зональных структур и прорастаний в алмазах; наличие внутри алмазов включений алмаза, гранита, графита и некоторых других минералов кимберлита.

Анализируя эти гипотезы, В. С. Соболев подвергает критике позиции сторонников происхождения алмазов из эклогитов, но поддерживает дальнейшее развитие гипотезы о возникновении кристаллов алмаза в особой кимберлитовой магме на глубине порядка 60—70 км.

В результате анализа материалов по условиям залегания

алмазов и комплекса минералов, им сопутствующих, В. С. Соболев пришел к выводу, что алмазы выкристаллизовались в самой кимберлитовой магме, однако на ранней стадии ее развития.

В дополнение к факторам, подтверждающим глубинное происхождение алмазов в кимберлитах, по Дю Тойту, В. С. Соболев приводит следующие доводы: наличие обломков кристаллов алмаза в кимберлитовой брекчии, особенно в случаях, когда обломки одного и того же кристалла находились в разных местах трубки; присутствие в кристаллах алмазов включений минералов, которые должны были разрушиться в последние этапы движения кимберлитовой магмы к поверхности, но сохранились благодаря защищавшей их от разрушения алмазной оболочке; следы графитизации алмаза также доказывают, что его кристаллизация происходила при температуре порядка 1200°C, т. е. еще до того, как кимберлитовая магма проникла в трубку, где температура была значительно ниже.

Отсюда В. С. Соболев приходит к важному выводу об образовании алмазов до взрыва и, следовательно, о невозможности закономерного уменьшения их содержания в трубке с увеличением глубины.

Источником углерода для образования алмазов В. С. Соболев считает угольную кислоту, всегда присутствующую в магме. Выделение углерода в его представлении происходит по известной реакции Будуара $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$, причем угольная кислота восстанавливается под действием свободного водорода и выделяющихся из магмы углеводородов. В качестве подтверждения глубинной неорганической гипотезы происхождения алмазов в работах В. С. Соболева со ссылкой на исследования А. Нейхауза указывается, что отношение изотопов углерода C^{12} и C^{13} в алмазах соответствует составу углерода в угольной кислоте и известняках и отличается от такового в органическом углероде, углях и в большей части графита.

Эта гипотеза не подтвердилась в работах финского ученого К. Ранкама — автора капитального труда «Изотопы в геологии» (1956). Ранкама считает, что изотопный состав углерода в алмазах изучен еще недостаточно и что имеющиеся материалы не дают основания для однозначного решения вопроса о природе этого углерода.

Более того, другой видный специалист в области изотопов — американский ученый Крейг, рассматривая с позиций изотопного состава уже упоминавшуюся гипотезу образования южноафриканских алмазов из углеродистого материала черных глинистых сланцев, подтвердил ее правильность. Эти сланцы содержат до 12—14% углеродистых веществ и при перегонке выделяют небольшое количество углеводородов органического происхождения,

Применительно к условиям Якутии следует отметить, что все известные здесь кимберлитовые трубки прорывают толщу древних карбонатных пород, образовавшихся еще до того, как на Земле появилась наземная растительность, из которой могли образоваться ископаемые угли. Следовательно, источником углерода для образования алмазов, принимая его органическую природу, нужно считать различные продукты переработки органического материала, вместе с карбонатными осадками отлагавшимися на дне древних морей. Такие продукты в виде рассеянной органики, битумов, капельно-жидкой нефти и углеводородных газов имеют широкое распространение в толще осадочных карбонатных пород на территории алмазоносной провинции.

Во всех случаях при бурении скважин на алмазоносных кимберлитовых трубках были получены убедительные признаки нефтегазоносности вмещающих трубку пород. Так, на трубке «Удачная» из скважин фонтанировал природный газ, состоящий из метана и других углеводородов, в известняках у трубки «Мир» найдена капельно-жидкая нефть и т. д. В нашем представлении такое обилие органического углеводородного материала в толще осадочных пород может рассматриваться как надежный источник получения углерода для естественного синтеза алмазов.

Вместе с тем, по данным Крейга и Ранкама о соотношении изотопов углерода у различных представителей морской растительности, служившей исходным материалом для образования углеводородов, можно полагать, что соотношения изотопного состава углеводородов и алмазов если не совпадают полностью, то близки по своим величинам.

Новая и оригинальная гипотеза о происхождении кимберлитов и связанных с ними алмазов была выдвинута советскими учеными Л. Н. Леонтьевым и А. А. Каденским. Эти исследователи полагают, что камеры взрыва кимберлитовых трубок расположены на сравнительно небольших глубинах — в верхней части фундамента и даже непосредственно над ним — в осадочном покрове. По мнению этих ученых, кимберлит образовался в результате сложной переработки обычной базальтовой магмы в камерах. Здесь же возникали и росли кристаллы алмаза. Причиной взрыва и формирования кимберлитовой трубки Л. Н. Леонтьев и А. А. Каденский считают повышение давления за счет подтока газов и новых порций магмы из находящегося на большой глубине магматического очага.

Наличие индивидуальных очагов в виде камер взрыва легко объясняет существование продуктивных и непродуктивных трубок, присутствие ксенолитов эклогитоподобных пород и других глубинных образований, различное качество алмазов не только в соседних, но и в одной трубке и т. д. К сожалению, в весьма интересной и оригинальной гипотезе Л. Н. Леонтьева и А. А. Каденского не рассматриваются такие принципиально важные вопросы алмазообразования, как давление, температура и источники свободного углерода. Расчеты показывают, что подпитывание камеры взрыва газами и магмой из глубинного магматического очага, в котором начальное давление ниже необходимого для образова-

ния алмазов, не может обеспечить в камере взрыва давлений больших, чем в очаге. Таким образом, рассматриваемая гипотеза также не дает ответа на вопрос об образовании алмазов.

Все существующие гипотезы глубинного образования алмазов в магме ультраосновного состава не дают ответа на целый ряд принципиально важных вопросов. Прежде всего, на глубинах, к которым приурочивается возникновение кристаллов алмаза, не может быть давления, достаточного для образования алмазов. С точки зрения современных представлений о внутреннем строении нашей планеты, для получения давлений, обеспечивающих кристаллизацию алмазов, необходимо допустить их образование на глубинах, превышающих 120 км. Но случаев проникновения магмы с этой глубины на поверхность еще не было и, как показал академик В. С. Соболев, даже теоретически возможность такого процесса исключена.

На уровне современных физико-химических знаний не менее сложно объяснить и наличие свободного углерода в глубинных очагах, без которого, как известно, невозможно образование алмазов.

Допустим теперь вопреки теории и фактам, что алмазы все-таки образовались в соответствии с изложенными гипотезами их глубинного происхождения и находятся в каком-то слое кимберлитовой или экологитовой магмы на глубине 70—150 км. Остается сделать немного — показать возможность поступления этих алмазов на поверхность, но здесь мы снова сталкиваемся с непреодолимыми трудностями, так как на пути к поверхности земли алмаз неизбежно должен превратиться в своего химического двойника — графит. О. И. Лейпунский путем теоретических расчетов и опытов доказал, что постепенное перемещение алмаза из области высоких температур и давлений к низким неизбежно приводит к превращению этого драгоценного камня в другую, более скромную форму углерода — графит. Только мгновенный скачок через широкую зону неустойчивого, переходного к графиту состояния обеспечивает сохранность алмаза, что необходимых условий для такого мгновенного перемещения с больших глубин к поверхности Земли природой не дано.

Не лучше обстоит дело, если мы, опираясь на позиции сторонников глубинного происхождения алмазов, попытаемся разобраться в закономерностях распределения алмазов по различным типам кимберлитовых тел, выявленных разведчиками в приповерхностном слое земной коры.

Как объяснить такой факт, когда из 10—20 трубок, связанных с общим питающим каналом, по которому поступает кимберлитовая магма, только одна или две содержат алмазы, а остальные заполнены такой же материнской породой,

но алмазов в них нет? Более того, если сопоставлять алмазы из алмазоносных трубок, принадлежащих к такому семейству, то даже неискушенный наблюдатель сразу устанавливает резкое различие в размерах, качестве, морфологии и других особенностях кристаллов. Иными словами, каждая трубка обладает специфическим, свойственным только ей спектром алмазов. А это, в свою очередь, предопределяется различной термодинамической¹ обстановкой их образования, что никак не согласуется с гипотезой об общем материнском очаге для группы трубок. Если допустить, что алмазы образовались на больших глубинах в верхней части перидотитового слоя или над ним в особой кимберлитовой магме, то при наличии существующей там относительно однообразной термодинамической¹ обстановки, не подверженной резким изменениям, следовало бы ожидать образования кристаллов алмаза, по существу не различающихся по размерам и морфологии. При допущении образования алмазов на больших глубинах становится совершенно необъяснимым появление трубок взрыва, не содержащих алмазов, а также отсутствие алмазов в интрузивных кимберлитах, залегающих в земной коре в виде даек и жил.

Гипотеза глубинного происхождения алмазов не может дать ответа и на другой, не менее сложный вопрос: как объяснить, что во многих районах земного шара найдены алмазные россыпи, а коренные месторождения, несмотря на самые тщательные поиски, не обнаружены?

Очевидно, что при поступлении алмазов откуда-то из глубинных источников, подводящие каналы, заполненные застывшей кимберлитовой магмой, содержащей алмазы, должны были бы при всех случаях сохраняться и фиксироваться на поверхности даже при самом большом эрозионном срезе. Другое дело, если допустить, что очаг кимберлитовой магмы находился близко к поверхности и соединенные усилия воздуха, ветра и воды за миллионы лет размыли, унесли и превратили в пыль мощную толщу осадочных пород, в которых находилась трубка и питающий ее очаг, где образовались алмазы. Но такое толкование процесса противоречит взглядам сторонников глубинной гипотезы.

Не находя удовлетворительного ответа на многие специальные вопросы, авторы этой брошюры высказали предположение, что алмазы возникли в результате взаимодействия кимберлитовой магмы с природным газом, нефтью и другими углеводородами. Это взаимодействие, обусловившее образование алмазов, происходило в особых очагах, расположенных на небольшой глубине (5—6 км) в пограничной зоне фундамента и осадочного чехла платформ.

В качестве исходных данных для решения вопроса о генезисе алмазов авторами приняты следующие закономерности и факты.

1. Все алмазоносные провинции располагаются в пределах древних платформ и занимают окраинные или перифе-

¹ Термодинамика — раздел физики, изучающий законы теплового равновесия и превращения теплоты в другие виды энергии.

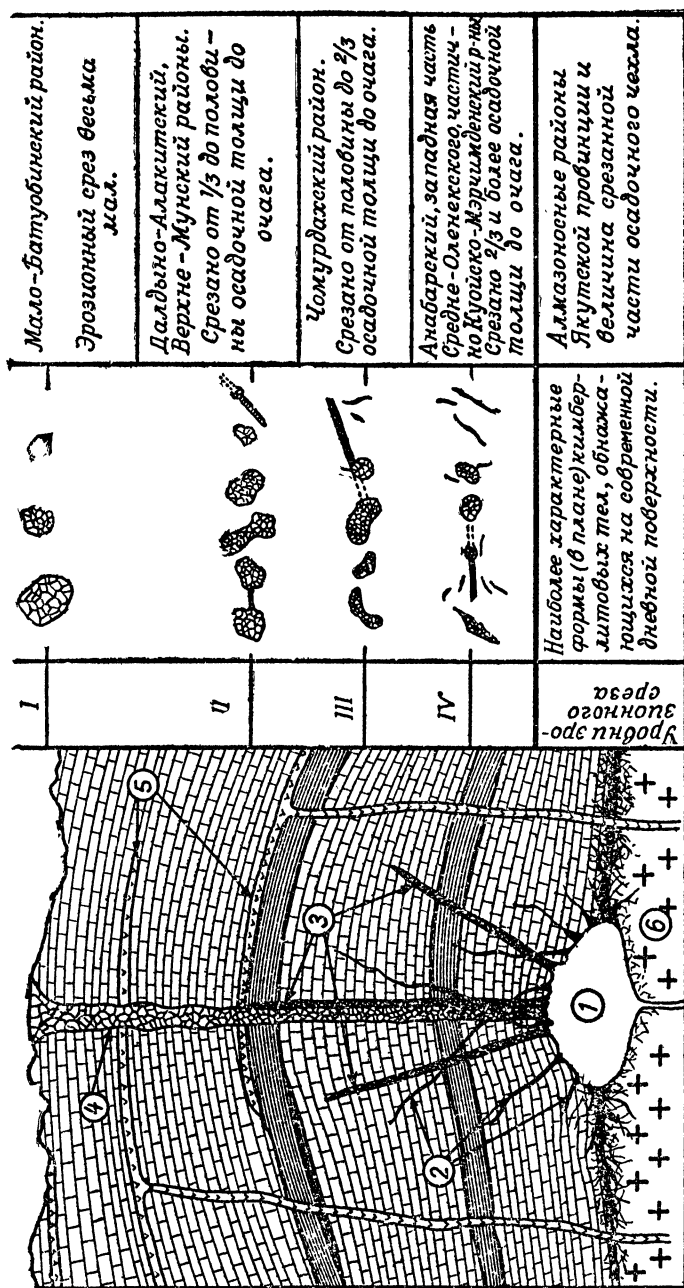


Рис. 2. Схема образования кимберлитовых тел в земной коре.

1. Промежуточный (сателлитный) очаг кимберлитовой магмы; 2. Интрузивные кимберлитовые жилы; 3. Интрузивные кимберлитовая трубка взрыва; 4. Кимберлитовые дайки; 5. Межпластовые интрузии траппов; 6. Кристаллический фундамент платформ,

рийные зоны территорий широкого развития траппового (базальтового) магматизма.

2. Характерной особенностью всех районов, где известны коренные месторождения алмазов, является обилие органического материала в пронизанных и экранированных интрузиями осадочных породах различного возраста. Этот материал встречается как в виде многочисленных рассеянных остатков организмов, так и в виде скоплений или залежей нефти и газа (Якутия, Индия), горючих сланцев, ископаемых углей (Африка).

3. Как в Якутии, так и в других алмазоносных районах земного шара кимберлитовые трубки взрыва встречаются только там, где в период их формирования был осадочный чехол мощностью в несколько километров.

4. Коренные месторождения алмазов связаны исключительно с кимберлитовыми брекчиями, заполняющими трубки взрыва и трещины, возникшие при образовании взрывного канала в окружающих породах. Другая разновидность кимберлитовых пород, называемая интрузивным кимберлитом, обычно заполняет небольшие крутопадающие трещины в земной коре и алмазов не содержит. Формирование кимберлитовых интрузий предшествует образованию трубок взрыва.

5. Кимберлитовые трубки с высоким содержанием алмазов очень редки. Преобладают кимберлитовые трубки, в которых алмазы или отсутствуют или содержатся в ничтожно малых количествах.

6. Из теоретических разработок О. И. Лейпунского и опытов по графитизации алмазов следует, что даже если допустить их образование на большой глубине, то при своем движении к поверхности в условиях постепенного понижения давления и температуры эти алмазы должны неизбежно превратиться в графит.

7. Исследованиями А. В. Варшавского (Якутский филиал СОАН СССР) установлены резкие изменения динамических условий в процессе образования и роста алмазов. При этом значительная часть кристаллов дробится, наблюдается частичное растворение граней и нарастание на этих обломках новых кристаллов алмаза. Объяснить такое дробление кристаллов в магматическом очаге можно, только допустив возможность мощных взрывов.

8. Искусственный синтез алмазов показывает, что кристаллизация углерода в алмаз может быть достигнута только в условиях хотя бы кратковременной устойчивости термодинамической обстановки, необходимой для образования алмаза. Искусственные алмазы получены в интервале давления от 40 до 100 тыс. *атм* и температур от 1200 до 2400°C.

9. Как в лабораториях, так и в заводских условиях на

ряде зарубежных предприятий искусственные алмазы получают при взрывах различных, сильно детонирующих веществ.

10. В числе минералов-спутников алмаза исследованиями, проведенными В. И. Маршинцевым и другими сотрудниками лаборатории геологии кимберлитов (ЯФ СОАН СССР) установлен карбид кремния — муассанит, требующий для своего образования высокой температуры (2000° С).

Отсутствие муассанита в других ультраосновных породах глубинного происхождения показывает, что на больших глубинах, соответствующих температурам порядка 2000°С, нет свободного углерода и причину образования муассанита и алмаза в кимберлитах, учитывая их чрезвычайно малую распространенность, надо искать в редкой избирательной обстановке, когда в локальной лаборатории природы в силу каких-то факторов появляется избыток свободного углерода.

Приведенный факт подтверждает ранее высказанное авторами предположение, что наличие свободного углерода в магме (глубже 20—25 км) с точки зрения химии высоких давлений маловероятно.

Другим доводом в пользу указанного положения служит широко известный факт почти полной стерилизации глубинных ультраосновных (перидотитовых) образований в отношении свободного углерода.

Наиболее сложным и интересным представляется решение вопроса об условиях и возможностях образования высоких температур и давлений, необходимых для возникновения и роста кристаллов алмаза.

С теоретических позиций (по О. И. Лейпунскому) образование алмазов в присутствии катализаторов возможно при температурах 1500—1700° С и при давлении 45—50 тыс. атм. Этот научный прогноз советского ученого получил блестящее подтверждение в практике искусственного синтеза алмазов в Советском Союзе и за рубежом.

Обширный фактический материал, накопившийся в процессе изучения действующих вулканов, наряду с известными представлениями современной науки о строении земной коры показывает, что на глубине порядка 40 км давление не может превышать 10—12 тыс. атм, при температуре 1200°С, и на глубинах 50—70 км не превышает 15—20 тыс. атм, что явно недостаточно для образования алмазов. Следовательно, для получения давлений, обеспечивающих кристаллизацию алмазов, необходимо допустить их образование на глубинах, превышающих 120 км. Но такое допущение и с геологических и с физико-химических позиций будет неправомерным. Как справедливо указывает В. С. Соболев, «...изобара, соответствующая границе возможного образования алмаза, т. е. 40 килобарам, конечно, проходит значительно ниже. В зонах нормального или пониженного давления она должна лежать на глубине более чем 120 км. Проникновение магмы с таких глубин является, по мнению автора, во-

обще маловероятным. Еще менее вероятным будет сохранение алмаза, если такие магматические очаги и образуются...»¹.

Г. Холл, американский исследователь в области сверхвысоких давлений вообще и в области синтеза алмазов в частности, также не объясняет появление алмазов в кимберлитовых трубках выносом их вместе с магмой из глубин Земли. Он пишет: «Если материал извергается из глубин Земли, где он находился при высокой температуре и давлении, то температура и давление будут при этом падать и вещество, находившееся в стабильной форме в глубине Земли, по достижении поверхности Земли будет переходить в нестабильную форму. Можно лишь удивляться тому, что алмазы вообще существуют»².

Вместе с тем факт приуроченности коренных месторождений алмазов к кимберлитам является несомненным. Именно приуроченность алмазов к кимберлитам в настоящее время и является единственным фактом, который большинством исследователей используется в качестве доказательства их глубинного происхождения.

По мнению ряда исследователей, кимберлитовая магма в виде особого слоя или зоны размещается между перидотитовым и базальтовым слоями.

Но этому противоречит наличие крайне незначительных объемов кимберлитовых пород в верхнем ярусе земной коры. Очевидно, что при существовании предполагаемых зон кимберлитовой магмы следовало бы ожидать проникновения больших масс этой магмы в верхние слои земной коры (интрузии) и излияния на поверхность (эффузии). Такое предположение является правомерным, поскольку при проникновении трещин в базальтовый слой, т. е. в зону меньших давлений, мы имеем излияния магмы базальтового состава в колоссальных объемах. Если признать существование специального кимберлитового слоя, то непонятны ничтожно малые объемы этой магмы, проникшие в земную кору во время траппового магматизма, когда подводящие каналы распространялись особенно глубоко внутрь земной коры. Результаты геофизических исследований строения земной коры также не дают оснований для выделения особого слоя кимберлитовой магмы.

Отмеченные противоречия, а также своеобразный характер химического состава кимберлитовой магмы легко объясняются предложенной авторами схемой образования кимберлитов и алмазов.

На заключительных этапах траппового магматизма, в результате перетока больших масс базальтовой магмы в верхние горизонты земной коры, в зону питания трещин могла

¹ В. С. Соболев Особенности вулканических проявлений на Сибирской платформе и некоторые общие вопросы геологии. «Геология и геофизика», № 7, 1962, стр. 14.

² Г. Холл. Исследования в области сверхвысоких давлений. «Успехи физических наук», 67, вып. 4, 1959, стр. 705—720.

подняться магма, сильно обогащенная магниальными компонентами. Поднимаясь к поверхности в свойственных фазе затухания траппового магматизма специфических условиях затрудненного движения, небольшие объемы этой магмы, взаимодействуя с породами фундамента и осадочного чехла, обогащаются щелочами и приобретают специфический облик кимберлитовой магмы — своеобразного щелочного ультраосновного расплава.

Естественно, что в период наиболее бурного проявления траппового магматизма, сопровождавшегося излиянием огромных масс базальтовой магмы, взаимодействие с породами ультраосновного состава и метаморфическими породами фундамента не может существенно сказаться на изменении ее химического состава. При малых же объемах движущейся магмы, на завершающих этапах траппового магматизма, такое взаимодействие неизбежно должно привести к ощутимым изменениям в химическом составе магмы в сторону повышения ее щелочности.

Нам представляется, что связь алмазов с кимберлитами обусловлена специфическими особенностями кимберлитовой магмы, образующей среду, наиболее благоприятную для возникновения алмазов. В составе этой магмы присутствуют минералы и металлы, способные выполнять роль катализаторов в процессе образования алмазов в очаге. В частности, в кимберлитах содержатся соединения никеля, который широко применяется в качестве катализатора при промышленном получении синтетических алмазов. При наличии никеля и других, еще не выявленных природных катализаторов кристаллизация алмазов в очаге будет происходить при температурах и давлениях, несколько пониженных по сравнению с величинами, вытекающими из теоретических расчетов. По аналогии с другими химическими процессами можно допустить, что участие катализаторов способно понизить давление кристаллизации алмазов на 20—25%.

Другим наиболее важным вопросом является обоснование такой термодинамической обстановки, которая обеспечивает не только образование алмазов, но и предупреждает их переход в другую аллотропную форму углерода — графит, неизбежный при постепенном понижении температуры и давления. Как уже отмечалось, первый шаг к решению этой задачи был сделан Л. Н. Леонтьевым и А. А. Каденским.

Предложенная ими гипотеза объясняет сохранность алмазов в результате резкого падения давления при образовании трубок взрыва, но не раскрывает условия возникновения в очаге высоких температур и давления, необходимых для кристаллизации алмазов.

По гипотезе авторов, подготовительная стадия к производству алмазов в природной лаборатории начинается с фор-

мирования очага. Под давлением магмы в пограничной зоне фундамента и осадочного чехла образуется полусфера, соответствующая широко известному геологическому понятию лакколита. На различных стадиях ее формирования проникающая в породы свода магма заполняет трещины и, цементируя свод, застывает в них, формируя дайки и жилы.

Рассмотрим возможные источники повышения давления в таком очаге. Мы уже показали, что воздействие глубинных источников магмы и ювенильных газов не может обеспечить давления кристаллизации алмазов не только в верхней пограничной зоне фундамента, но и на глубинах до 50—70 км.

Кроме того, расчеты показывают, что за счет подпора магмы, без разрушения вышележащего участка земной коры, даже при самой большой мощности осадочного чехла как в его нижних слоях, так и в пограничной с ним части фундамента нельзя получить устойчивых давлений, близких по величине к давлениям алмазообразования.

Другое дело, если допустить, что в особых локальных очагах, где скапливаются магматический расплав и газы, будут происходить взрывы газовых смесей, образовавшихся при взаимодействии этого очага с вмещающими породами, в которых содержатся углеводороды и вода. В этом случае на начальной стадии процесса будут происходить мощные скачки давления, постепенно распространяющиеся от сравнительно ограниченного пространства в отдельных участках очага до объемов, охватывающих ближайшие слои вмещающих пород. И только на завершающих этапах, прогрессирующих с повышением температуры взрывных процессов с вовлечением больших масс исходного материала, происходит разрушение очага и образование трубки взрыва.

Если в таких локальных очагах будет доказано присутствие свободного углерода и возможность возникновения нарастающих по силе взрывных реакций газовых смесей, то в первом приближении проблему естественного синтеза алмазов можно считать решенной.

Укажем, что под взрывом в данном случае подразумевается соответствующее понятию детонации быстрое (от 2 до 8 км/сек) распространение химического превращения вещества, сопровождающееся выделением тепла. Повышение давления увеличивает скорость детонации в газовой смеси и, следовательно, увеличивает и давление взрыва. Повышение температуры при постоянном давлении незначительно уменьшает скорость детонации. К числу взрывчатых газовых смесей, которые могут образоваться в очаге, относятся гремучий газ и различные концентрации смесей окиси углерода (CO), водорода (H_2), углерода (C), метана (CH_4), ацетилена

(C_2H_2), сероуглерода (S_2C) и других соединений. Большинство реакций между углеродом, водородом и кислородом носит экзотермический характер и сопровождается выделением тепла и разогревом очага. При взрыве ацетилена также выделяется значительное количество тепла.

Сухой гремучий газ, состоящий из смеси двух объемов водорода с одним объемом кислорода, в среде высокого давления взрывается при температуре выше $1000^\circ C$. В присутствии даже минимальных количеств (следов) водяных паров гремучий газ в закрытом сосуде взрывается при температуре $600^\circ C$ и при давлении, близком к атмосферному. Скорость распространения взрыва смеси, состоящей из 67% H_2 и 33% O_2 , равна 2820 м/сек. С повышением плотности среды она возрастает до 4000—8000 м/сек. При таких скоростях распространения взрыва давление может достигать огромных величин (до 100 тыс. атм и более). Величину давления можно приблизительно определить из формулы, непосредственно связывающей скорость детонации или распространения взрывной волны с давлением взрыва данной смеси в замкнутом объеме (по Я. Б. Зельдовичу, 1944),

$$P = \frac{D^2}{4,44 v_0},$$

где D — скорость детонации, см/сек; P — давление, дин/см²; v_0 — удельный объем газа, см³/г. Примем $D = 6 \cdot 10^5$ см/сек. Удельный объем наиболее вероятного состава смеси газов в очаге при давлении около 2000 атм будет $V_0 = \frac{1}{\rho}$; $\rho = 1$ г/см³,

$$\frac{1}{\rho} = 1 \text{ см}^3/\text{г}; \text{ тогда } P \text{ взрыва} = \frac{36 \cdot 10^{10}}{4,44 \cdot 1} = 8,1 \cdot 10^{10} \text{ дин/см}^2 \sim \sim 81 \text{ тыс. атм.}$$

Ближние результаты дает расчет и по формуле $P = 0,25 \rho D^2$; (1), где ρ — плотность газовой смеси в г/см³, а все остальные обозначения те же. Для принятых условий $P = 0,25 \cdot 1 \cdot 36 \cdot 10^{10} = 96 \cdot 10^{10}$ дин/см² ~ 90 тыс. атм. При $D = 8000$ м/сек давление взрыва возрастает до 160 тыс. атм.

Водородно-кислородные смеси взрываются при содержании в них водорода от 6 до 95% (объемных). При взрыве происходит значительное повышение температуры (до $2800^\circ C$). Отмечается, что в присутствии двуокиси углерода температура воспламенения водородно-кислородной смеси повышается. Окись углерода в смеси с кислородом также взрывается с большой силой, причем взрыв аналогичен взрыву гремучего газа. Метан и кислород также образуют взрывчатые смеси большой мощности. К числу вероятных компонентов взрывчатых соединений следует отнести также сероводород и сероуглерод. Приведенные в различных лите-

ратурных источниках данные указывают на возможность возникновения реакций между перечисленными газами, сопровождающихся высокими скоростями, а следовательно, и очень большими давлениями взрывной волны.

Возможность образования алмаза под действием ударной волны, т. е. при взрывах, уже давно доказана теоретически и экспериментально.

Остается решить вопрос об источниках водорода, кислорода, метана, окиси углерода, ацетилена как главных составляющих газовых смесей в природных камерах взрыва.

В условиях рассматриваемого нами очага кислород, водород и ацетилен могут накапливаться за счет разложения метана и других углеводородов, диссоциации воды и других соединений, а водород — при взаимодействии окиси углерода с водой по реакции: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 9,8 \text{ ккал}$. Можно полагать, что на первом этапе взрывных процессов главным источником водорода будет разложение метана, а на завершающем (после разогрева очага) — диссоциация водяных паров. Кислород в основном должен поступать из осадочных пород за счет радиохимического разложения воды и других соединений, а также при повышении температуры в очаге в результате разложения водяных паров. Кроме того, определенное количество кислорода может быть получено и в результате химических реакций некоторых соединений магматического расплава. В целом, по сравнению с водородом, получение свободного кислорода более затруднено, но это компенсируется его меньшим содержанием в большинстве взрывчатых смесей и способностью к взрыву без участия свободного кислорода таких соединений, как ацетилен.

Большую роль в процессе развития очага должен играть метан и другие гомологи этого ряда, поставляющие водород и углерод и непосредственно участвующие во взрывных реакциях. Окись углерода, интересующая нас как вероятный участник взрывной деятельности очага, также должна образовываться в результате сложных и многообразных реакций обмена между углеводородами и при химических реакциях взрыва. Значительное количество CO и CO_2 будет поступать и в составе ювенильных газов.

Особого внимания заслуживает участие ацетилена во взрывных процессах, поскольку взрыв этого соединения происходит без участия кислорода. На промышленных установках разложение ацетилена осуществляется высокотемпературным разложением метана, причем наибольшее количество C_2H_2 (до 25%) выделяется в интервале температур 1200—1500°C. Очевидно, что при наличии метана, углерода и водорода в термодинамической обстановке очага также будет происходить образование ацетилена, но количественную оценку этого процесса без специальных опытов дать трудно,

Возможно также и присутствие ацетилена во вмещающих очаг породах, образовавшегося в результате воздействия горячей магмы на углеводородные газы (метан, этан) в период времени, предшествовавший формированию очага. Такое предположение хорошо увязывается с уже отмечавшимся фактом приуроченности кимберлитовых трубок к зонам интенсивного проявления вулканической деятельности.

Если принять среднюю величину тепловой энергии газа, выделяемой при взрыве ацетилена, равную 2500 ккал, то среднее давление взрывной волны достигнет 180—200 тыс. атм.

Химическая реакция протекает с выделением тепла и может быть представлена в следующем виде: $C_2H_2 = 2C + H_2 + 55 \text{ ккал}$.

Теперь нам остается рассмотреть последнее важное звено в цепи процессов, обуславливающих образование алмазов в земной коре, — определить источник свободного углерода. Прежде всего отметим, что на примере известных алмазоносных провинций мира установлена приуроченность содержащих алмазы кимберлитовых трубок к зонам повышенной концентрации органического материала в осадочной толще земной коры и сопредельных с ней трещиноватых участках фундамента. Такая приуроченность алмазоносных кимберлитовых трубок к районам повышенного содержания органического материала укрепляет предположение о генетической связи алмазов с органическим углеродом, содержащимся во вмещающих очаг породах.

С другой стороны, имеющиеся сведения о составе вулканических газов и теоретические работы в этом направлении (химия больших молекул, крекинг-процессы, синтез углеводородов) позволяют сделать вывод, что в глубинных магматических очагах углерод находится в связанном состоянии. Поэтому следует заметить, что восстановление углерода из его ювенильной окиси по обратимой реакции Будуара ($CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$), с которой иногда связывается получение свободного углерода для алмазообразования, возможно только в газовой фазе этих соединений, отсутствующей на больших глубинах, где все газы почти полностью растворены в магме. Кроме того, указанная реакция имеет двоякую направленность: с ростом давления повышается содержание CO_2 , а при повышении температуры резко увеличивается количественно CO .

Другой возможный источник свободного углерода — метан в составе вулканических газов встречается крайне редко, а более тяжелые представители (гомологи) этого ряда ни в одном случае не были обнаружены. Так, в составе газов действующих вулканов Камчатки и Курильских островов преобладают сернистые и углекислые газы. В малых количествах присутствуют водород, метан и хлор. Тяжелые углеводороды

всегда отсутствуют, не зафиксировано и наличие свободного азота. Аналогичная характеристика газов получена и для большинства других вулканов Азии и Европы, причем в ряде вулканов (Килауэа и др.) присутствие метана вообще не обнаружено.

Укажем также, что при изучении проблемы происхождения графита многие исследователи, в том числе советский ученый В. П. Солоненко, пришли к выводу, что основным источником образования этой разновидности углерода является кристаллизация углерода, высвободившегося при разложении органических углеводородов под высокотемпературным воздействием внедрившихся интрузий.

В отличие от магматического расплава осадочная толща, насыщенная органическим материалом, является богатейшим источником свободного углерода, который в огромных количествах высвобождается при разложении и преобразовании углеводородов в магматическом очаге. Как уже указывалось, такое предположение не противоречит и результатам исследований изотопного состава углерода алмазов, а по заключению Крейга, находит в них прямое подтверждение.

В свете изложенных данных процесс развития очага и образования трубки взрыва можно охарактеризовать следующим образом.

После заложения магматического очага в базальных слоях осадочной толщи или в пограничной зоне фундамента, в нем скапливаются ультраосновной расплав и вулканические газы с объемным преобладанием последних. В условиях высокого давления и температуры в системе расплав — газ между магматической средой и флюидами, заполняющими вмещающие очаг породы, происходят химические реакции. В результате этих реакций возникают взрывчатые смеси и свободный углерод органического происхождения.

Вначале тепловые взрывы носят локальный характер и распространяются на отдельные ограниченные участки очага. На этой начальной стадии взрывных процессов происходит обогащение магмы свободным углеродом и общее повышение температуры очага за счет суммарного теплового эффекта в целом преобладающих экзотермических реакций. Тепловой эффект возможных реакций между газами в очаге представлен в табл. 1.

По мере нарастания температуры в очаге химические реакции становятся более интенсивными, а взрывы более мощными. На этой стадии развития объем очага увеличивается и площадь контакта с вмещающими породами расширяется. На завершающей стадии, после того как в результате предшествующих взрывов температура очага повысится до 2000—2300°C, основным источником энергии становятся ацетилен

Реакция	Тепловой эффект (ккал)	Реакция	Тепловой эффект (ккал)
$2C + O_2 \rightarrow 2CO$	+ 52,8	$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ (пар)	+ 57,9
$2CO + O \rightarrow 2CO_2$	+ 135,2	$2CO \rightarrow CO + C$	+ 41,2
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	+ 94,0	$C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2$	+ 55,0
$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ (пар)	+ 115,6	$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	+ 17,9
$CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$	+ 9,8	$H_2 + 2C \rightarrow C_2H_2$	- 57,1
$2H_2 + CO_2 \rightarrow 2H_2O + C$	+ 21,6	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	- 192,0
$2CO + 2H_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$	+ 59,1	$2C + 4H_2O \rightarrow 2CH_4 + 4O$	+ 36,0

и гремучая смесь, образующаяся за счет диссоциации водяных паров.

В процессе взрывов возникает термодинамическая обстановка, обеспечивающая переход свободного газообразного углерода в его аллотропную кристаллическую разновидность — алмаз. При последующих взрывах часть алмазов неизбежно подвергается дроблению, а в промежутках между взрывами частичному или полному растворению. Происходят новые взрывы, и наряду с образованием новых алмазов формируются и растут сложные кристаллы, ядрами которых служат уцелевшие кристаллы и их обломки.

Такие гипотезы о механизме алмазообразования находят подтверждение в экспериментах и новейших исследованиях. По мнению советского ученого В. Н. Родионова (Институт химической физики АН СССР), в прочных горных породах на глубине 4—5 км давление взрыва в очаге, превышающее 50 тыс. атм может удерживаться в течение промежутка времени, превышающего 5—6 секунд. Графически этот процесс можно изобразить в виде восходящей, но ломаной кривой, на которой участки падения температуры и давления соответствуют промежуткам между взрывами, когда может происходить частичное растворение кристаллов алмаза. Такой термодинамический характер процесса хорошо объясняет наличие в кристаллах алмаза слоев растворения и роста.

Указанное термодинамическое своеобразие процесса образования алмазов находит подтверждение в исследованиях советских ученых Е. И. Шеманиной и В. И. Шеманина, которыми в результате морфологического изучения кристаллов алмаза из кимберлитовых трубок Якутии установлено широкое распространение на алмазах протоматмических регенерированных сколов¹. Явления регенерации обнаружены не менее чем у 50% всех сколотых кристаллов алмаза.

¹ Протоматмический — первичноматмический, образовавшийся до застывания магмы: регенерация — восстановление, возрождение. В данном случае — восстановление сколотой части кристалла алмаза.

При этом регенерированные сколы встречаются на алмазах различной крупности, любого цвета и независимо от морфологического типа.

На основании своих наблюдений, Е. И. Шеманина и В. И. Шеманин делают вывод о резком изменении динамических условий в процессе роста алмазов. В результате этих изменений часть кристаллов раскалывалась, но дальнейший рост продолжался, и на поверхности сколов образовывались новые слои кристаллов.

К такому же выводу в результате исследования внутреннего строения кристаллов алмаза пришел и А. В. Варшавский.

Взрывное действие газовых смесей наиболее сильно проявляется в верхней части камеры взрыва, где скапливается основная масса газа, что постепенно приводит к разрушению свода и перекрывающих его горных пород.

Нам представляется, что на заключительной стадии прорыва, учитывая концентрацию газов в присводовой части, может иметь место и проявление кумулятивного эффекта взрыва.

Перейдем теперь к рассмотрению вопроса о формировании трубки взрыва. Прежде всего отметим, что при накоплении магмы в очаге над ним происходило выгибание осадочного чехла, приводящее к образованию в нем растягивающих усилий.

Факт начального прорыва именно газовой фазы является бесспорным. В пользу такого вывода свидетельствует округлая или близкая к ней форма трубок взрыва и некоторые другие факторы.

Мгновенный, обусловленный взрывом, прорыв осадочного чехла при образовании трубки взрыва, является обязательным условием сохранения алмаза в очаге. Формируя трубчатый канал, огромная масса газов прорывается в атмосферу, давление в очаге резко падает, из магмы выделяется летучие соединения, происходит ее быстрое переохлаждение, благодаря которому основная масса алмазов с большой скоростью «перескакивает» опасную для них зону графитизации и переходит в область стабильного, сравнительно низкотемпературного (400—450°C) состояния. В тех случаях, когда прорыв осадочного чехла происходит недостаточно быстро или при значительном подтоке горячих газов из глубин земли, охлаждение магмы замедляется. Такая обстановка обуславливает растворение или исчезновение значительной части алмазов и вместе с тем образование ряда минералов (слюда — флогопит, апатит и др.), содержащих в себе летучие соединения, которые при достаточно большом снижении давления в момент прорыва осадочного чехла должны были выделиться из магмы.

Наблюдениями геологов установлено, что в слюдистых кимберлитовых брекчиях алмазы отсутствуют или находятся в мизерных количествах.

Вслед за образованием трубки взрыва начинается ее заполнение вязкой охлажденной магмой, поступающей из очага. Подъем магмы по трубке определяется главным образом давлением массы горных пород разрушенного свода очага. Отдельные блоки разрушенного взрывом свода, опускаясь, выжимают магму в сформированный взрывом канал.

Движение кимберлитовой магмы к поверхности происходит с неодинаковой скоростью. Оно более интенсивно в центральной части трубки, где выше температура и меньше вязкость. При неравномерном оседании перекрывающей очаг осадочной толщи заполнение трубки кимберлитовой магмой может носить пульсационный и даже поэтапный характер. На процесс формирования выполняющей трубку кимберлитового тела существенное влияние может оказать возобновление подтока газов и ультраосновной магмы с глубин Земли, а также вторжение масс воды из прорванных взрывом пород осадочного чехла. Совокупность указанных процессов наряду с заложением и развитием новых очагов, питающих ранее сформировавшиеся трубки, определяет всю специфику и многообразие форм и особенностей залегания кимберлитовых пород и их состава.

Ксенолиты часто достигают больших размеров (до 10 и более метров) и составляют от 6—10 до 30—40% объема всей породы, заполняющей трубку. Эти ксенолиты попадали в магматический расплав различным путем. Основная масса инородных тел образовалась за счет падения обломков вмещающих пород с трех-пятикилометровых стенок канала в начальной стадии формирования трубки. Значительная часть ксенолитов, оторванных взрывом, но еще державшихся в толще осадочного чехла, была захвачена застывающей магмой при ее движении вверх. И, наконец, третья, самая малочисленная группа ксенолитов, представленная обломками пород фундамента и других глубинных образований, была перенесена из очага в процессе выдавливания оттуда магмы.

Отметим, что обилие ксенолитов, характер их размещения в трубке, а также отсутствие следов температурного воздействия магмы на ксенолиты вмещающих пород могут получить удовлетворительное объяснение только при условии формирования трубчатого канала мощным одноактным прорывом огромной массы газов.

Эта гипотеза объясняет различную степень алмазности кимберлитовых трубок, а также полное отсутствие алмазов в большинстве трубок.

Кимберлитовая трубка без алмазов могла образоваться на первой стадии взрывных процессов, в условиях прорыва

осадочного чехла при давлениях ниже начального давления кристаллизации алмазов. Это могло произойти при отсутствии экранирующих очаг пластов горных пород высокой прочности, при малой мощности перекрывающей толщи или в случае сильного растяжения на данном участке осадочного чехла.

Трубки с малым или небольшим содержанием алмазов возникли или при прорыве очага в какой-то промежуточной стадии его развития, что связывается с недостаточной прочностью свода, или в случае уже упоминавшегося недостаточно быстрого охлаждения магмы после прорыва газов и связанного с этим частичного уничтожения алмазов.

И, наконец, наиболее богатые кимберлитовые трубки с уникальным содержанием алмазов образовались из очагов, расположенных в пределах нефтегазоносной структуры или рядом с ней, т. е. в условиях исключительного обилия углерода и наиболее благоприятной геотектонической обстановки (сжатие в чехле, прочный свод).

К последней группе относятся отдельные трубки Якутской алмазоносной провинции.

Как известно, уже разрабатываемые коренные алмазные месторождения Якутии приурочены к зоне наиболее интенсивных нефтегазопроявлений и тектонически связаны со структурными формами, благоприятными для скопления нефти и газа. В аналогичных условиях находятся алмазосодержащие трубки Африки, но источником углерода там служила более бедная подвижными соединениями угольная органика.

С приведенных позиций легко объясняется и наличие алмазных россыпей в районах, где отсутствуют алмазоносные кимберлитовые трубки.

Естественно, что если трубки взрыва уничтожаются в ходе эрозионных процессов, то вместе с ними исчезают коренные месторождения алмазов, и там, где это имеет место, алмазы следует искать только в россыпях. С точки зрения глубинного происхождения алмазов в особом кимберлитовом слое расплавленной магмы, алмазы должны находиться в породе на всем протяжении подводящего канала, вплоть до поверхности, а наличие их в россыпях при отсутствии коренных месторождений остается необъяснимым.

Раскрытие механизма образования алмазов в подземных лабораториях природы представляет не только теоретический интерес, но имеет и большое практическое значение. Решение этой вековой загадки позволит определить наилучшие катализаторы и исходный материал для производства искусственных алмазов, а также уточнить критерии для поиска алмазоносных кимберлитовых трубок и россыпей.

Над чем работают советские архитекторы?

Что нового появится в ближайшее время в облике и планировке домов, квартир?

Каково генеральное направление технического прогресса в области строительства?

Как самому построить дом?

На эти и еще многие вопросы ответят читателям научно-популярные брошюры новой серии

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»

Выпускается одна брошюра в месяц. Среди них следующие работы:

Бургман В. В., доктор техн. наук.

Прогрессивные типы промышленных зданий.

Горбушин П. Б., директор НИИ экономики строительства.

Новые методы планирования строительного производства.

Казанский В. Е., инженер.

Механизация отделочных работ.

Рубаненко Б. А., директор ЦНИИЭП жилища.

Архитектура и индустриализация жилищного строительства.

Советская архитектура сегодня и завтра.

Хазанов Д. Б., канд. архитектуры.

Унификация и стандарт в строительстве и архитектуре.

Егоров И. И., инженер.

Как самому построить дом.

И другие.

На серию можно подписаться, как на газеты и журналы.

Подписная цена
с 1 июля до конца года — 54 коп.

Кроме этой серии, по науке и технике издаются серии: «Физика, астрономия», «Математика, кибернетика», «Химия». «Наука о Земле», «Техника», «Радиоэлектроника и связь», «Промышленность», «Транспорт». Распространяются они также по подписке. Подписная плата та же.

Подписка принимается без ограничения.

В каталоге «Союзпечати» серии помещены в разделе «Научно-популярная литература» под рубрикой «Брошюры издательства «Знание».

Издательство «Знание».