

ПЛЮМОВАЯ ПРИРОДА НЕКИМБЕРЛИТОВЫХ АЛМАЗОВ

© 2015 г. В. С. Шкодзинский

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН
677982, г. Якутск, просп. Ленина, 39
E-mail: shkodzinskiy@diamond.ysn.ru*

Поступила в редакцию 16.01.2015 г.

Принята к печати 26.03.2015 г.

Результаты количественного моделирования свидетельствуют о том, что относительно низкотемпературные кимберлитовые магмы декомпрессионно затвердевали и взрывались под влиянием законсервированного затвердеванием высокого давления флюидной фазы на значительной глубине с формированием протяженных трубок. Лампроитовые и близкие к ним по составу магмы, вследствие более высокой температуры и меньшего содержания летучих компонентов, взрывались в приповерхностных условиях с образованием в основном обширных покровов туфов или формировали расплавно-газовую смесь. Подъем ее сопровождался возникновением штокверков флюидизитов. Эрозия рыхлых покровов туфов приводила к быстрому образованию россыпей. Лампроитовые магмы формировались в результате фракционирования глубинных очагов основных магм в плюмах. В них иногда кристаллизовались алмазы. Все особенности алмазов (округлая форма, экзогенный парагенезис включений, присутствие иногда включений нижнемантийных минералов) в россыпях с неустановленными коренными источниками свидетельствуют о кристаллизации их в этих очагах в плюмах.

Ключевые слова: алмазы, плюмы, лампроиты, кимберлиты, декомпрессионное затвердевание.

УНИКАЛЬНЫЕ РОССЫПИ ОКРУГЛЫХ АЛМАЗОВ С НЕИЗВЕСТНЫМИ КОРЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

На большинстве древних платформ присутствуют крупные россыпи преимущественно округлых алмазов с неизвестными или точно не установленными коренными источниками. Например, вдоль юго-западного побережья Африки в районе устья р. Оранжевой примерно на 1300 км протягиваются прибрежно-океанические россыпи алмазов, запасы которых оцениваются в 1–3 млрд кар (Подчасов и др., 2005). В этих россыпях алмазы очень крупные (средняя масса до 2 кар) и высококачественные. Цена их в среднем 200 дол/кар, а в некоторых партиях достигала 1000 дол/кар. Ближайшие к ним кимберлитовые трубки не алмазоносны или скудно алмазоносны, встречающиеся в них алмазы мелкие и низкокачественные. Поэтому обычно предполагается, что алмазы в эти россыпи привнесены из продуктивных кимберлитовых трубок (Кимберли, Премьер, Орапа и др.), расположенных примерно в полутора тысячах километров от россыпей. Однако такой источник этих алмазов представляется сомнительным, поскольку алмазы не смачиваются водой и поэтому плохо переносятся, особенно их крупные кристаллы. Кроме того, в этих россыпях нет индикаторных минералов кимберлитов и алмазы в них преимущественно механически не изношены (лишь в 5% кристал-

лов есть следы износа), несмотря на расположение в волноприбойной зоне океана и на предполагаемый перенос их на огромное расстояние. Для определения источника алмазов этих россыпей в Западно-Африканской кимберлитовой провинции были отобраны крупные (до нескольких тысяч тонн) пробы из кимберлитовых трубок. Однако в них не удалось обнаружить ни одного крупного ювелирного алмаза, характерного для россыпей (Подчасов и др., 2005).

Другим примером являются россыпи северной Якутии. Здесь на сравнительно небольшом по площади бассейне р. Эбелях (около 2 тыс. км²) находится 52.3 % россыпных алмазов России (Граханов и др., 2007). При этом за пределами этого бассейна, в районе промышленных кимберлитовых трубок, количество алмазов в россыпях примерно в 2.5 раза меньше, чем в эбеляхских, несмотря на то что 300–400 м верхних частей трубок размыты и, следовательно, их алмазы переместились в россыпи. Это привело к предположению о том, что коренные источники россыпей северной Якутии были уникально богатыми.

Однако десятки лет геологических исследований не привели к их открытию, хотя главные промышленные кимберлитовые трубки в западной Якутии были найдены в основном за 5–6 лет поисков. Обнаруженные трубки в районе северных россыпей не алмазоносны или скудно алмазоносны. Выяснилось также, что широко распространенные

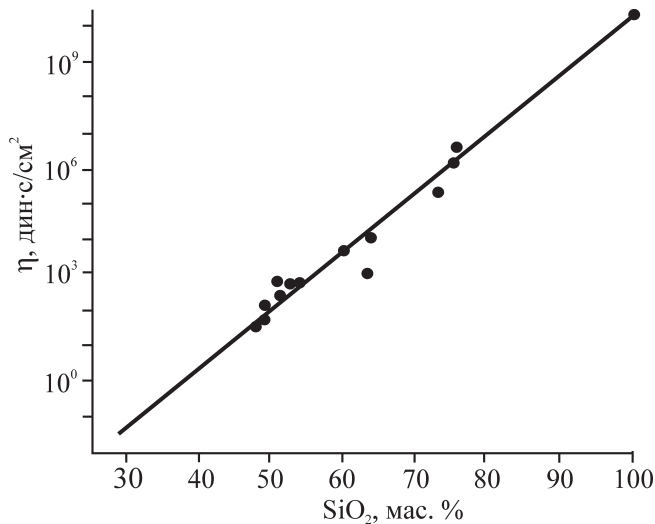


Рис. 1. Зависимость вязкости алюмосиликатных расплавов от содержания в них кремнекислоты (Воларович, Корчемкин, 1937).

Fig. 1. Correlation of viscosity and silica content in aluminosilicate melts (Воларович, Корчемкин, 1937).

(до 57%) в россыпях темные округлые алмазы V и VII разновидностей по Ю.Л. Орлову в кимберлитах Якутии вообще отсутствуют.

Чаще всего предполагалось, что коренные источники этих россыпей находятся очень далеко, поэтому обнаружить их трудно. Высказывалось мнение, что алмазы принесены из трубок, существовавших в прошлом на сотни километров севернее в дельте р. Лены или в районе Приверхо-янского прогиба (Граханов и др., 2007; Мальков, 2009). Однако имеются данные, противоречащие этим предположениям. Северные россыпи содержат в основном гальку местных пород, тогда как при поступлении алмазов с севера в них должно было бы находиться большое количество обломков разнообразных вулканитов, широко распространенных на окраине Сибирской платформы. В россыпях дальнего переноса обычно отсутствуют высокодефектные кристаллы алмазов, образовавшиеся вследствие их разрушения при перемещениях (Подчасов и др., 2005). Между тем в северных россыпях до половины алмазов составляют высокодефектные разновидности V и VII. Для них характерны трещиноватость, блоковое и фибриллярное строение (Афанасьев и др., 2000) и множество флюидно-графитовых включений, вследствие которых они имеют темный цвет. Такие алмазы должны интенсивно дробиться при переносе и вряд ли могут перемещаться на большие расстояния. Кроме того, реки обычно текут с центральных в краевые части континентов, поэтому предполагаемый перенос алмазов навстречу их течению выглядит маловероятным.

ПРИЧИНА ОТСУТСТВИЯ ВЫСОКОАЛМАЗОНОСНЫХ ДИАТРЕМ В ОБЛАСТЯХ РАЗВИТИЯ РОССЫПЕЙ С ОКРУГЛЫМИ АЛМАЗАМИ

Очевидно, что для решения проблемы коренных источников россыпей необходимо выяснить происхождение типичных для них алмазов. Как показал анализ опубликованных данных (Шкодзинский, 2014), для многочисленных россыпей с неустановленными коренными источниками во всем мире характерна высокая доля округлых додекаэдровидов алмаза. В россыпях Вишерского Урала их доля достигает 80–90%, в северных россыпях Якутии она чаще всего составляет 60–70%, хотя в промышленных трубках этого региона их доля равна первым процентам (Граханов и др., 2007). Обычно предполагается, что округлые алмазы образованы путем частичного растворения октаэдрических кристаллов этого минерала в мантии. Однако этому предположению противоречит присутствие иногда округлой внутренней ростовой зональности в алмазах и обычно больший размер округлых кристаллов по сравнению с плоскогранными в одних и тех же трубках и россыпях. Особенно этому противоречит пониженная удельная интенсивность рентгенолюминесценции в них, указывающая на более высокую дефектность вещества. Иные свойства алмазного вещества по сравнению с плоскогранными октаэдрами свидетельствуют о формировании округлых кристаллов не путем растворения плоскогранных, а о ростовом их образовании.

Сунагава (Sunagava, 1984) показал, что морфология формирующихся кристаллов алмаза определяется степенью пересыщения среды их образования углеродом. Она возрастает с уменьшением коэффициента диффузии этого компонента. Из формулы Эйнштейна–Стокса

$$D = RT\rho / (6\pi\eta r)$$

следует, что величина коэффициента диффузии D в жидкостях прямо пропорциональна температуре T и обратно пропорциональна динамической вязкости среды η (постоянная Больцмана $R = 8.31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·град, ρ – плотность среды, $\pi = 3.14$, r – радиус диффундирующих молекул) (Таблицы..., 1976). Вязкость расплава сильно возрастает с увеличением содержания в нем кремнекислоты (рис. 1). Поэтому, судя по формуле, в кристаллизовавшихся магмах рост содержания кремнекислоты в остаточных расплавах приводил к снижению коэффициента диффузии углерода и возрастанию степени пересыщения им расплавов. Вследствие этого на гранях кристаллов формировались все меньшие по площади слои роста и алмазы становились округлыми (Шкодзинский, 2014). Из этого следует, что в относительно большом количестве округлые алмазы кристаллизовались в магмах, бо-

гатых кремнекислотой. Данный вывод подтверждается резким возрастанием доли округлых алмазов с увеличением количества кремнекислоты в кимберлитах и лампроитах (рис. 2). Поэтому коренным источником таких россыпей в основном были лампроиты и близкие к ним щелочно-основные породы, поскольку они обычно содержат в полтора-два раза больше кремнекислоты, чем кимберлиты.

Лампроитовую природу коренных источников северных россыпей Якутии предполагали некоторые исследователи (Епифанов, Родин, 1991). Однако такое предположение само по себе не решает проблему, поскольку не ясно, почему до сих пор в регионе не найдены высокоалмазоносные лампроитовые диатремы. Ответ на этот вопрос дают результаты расчетов количественных моделей эволюции магм при подъеме (Шкодзинский, 2014). Из них следует, что кимберлитовые и другие относительно низкотемпературные магмы после вскипания при подъеме начинали интенсивно затвердевать (участки 4 на линиях эволюции на рис. 3). Это обусловлено тем, что летучие компоненты являются сильными плавнями. Поэтому уменьшение их концентрации в расплаве под влиянием выкипания при декомпрессии приводило к его кристаллизации. Она заканчивалась взрывом затвердевших верхних частей магматических колонн под влиянием законсервированного затвердеванием высокого внутреннего давления газовой фазы (участки 5). В результате формировались взрывные диатремы и различные брекчии.

Анализ рассчитанной по экспериментальным и термодинамическим данным количественной модели кимберлитовых магм (см. рис. 3) свидетельствует о том, что протяженность диатрем в основном определялась температурой и содержанием летучих компонентов в магмах, особенно труднорастворимой в расплаве углекислоты. На рис. 4 видно, что содержание CO_2 в лампроитах в среднем составляет около 1%, а в кимберлитах – около 18%, т.е. в среднем углекислоты в лампроитах примерно в 18 раз меньше, чем в кимберлитах. Из этого следует, что протяженность лампроитовых диатрем должна быть во много раз меньше, чем кимберлитовых. Кимберлитовые трубки имеют первоначальную протяженность порядка 1–2 км. Как показал анализ, лампроитовые диатремы обычно должны иметь глубину десятки – первые сотни метров. При такой небольшой протяженности они должны очень быстро полностью уничтожаться эрозией, поскольку уровень среза промышленных трубок в Якутии составляет сотни метров, а в Африке достигает полутора километров. Поэтому лампроитовые диатремы в районе северных россыпей, видимо, в основном не сохранились.

Важной особенностью взрывов лампроитовых магм было то, что вследствие небольшой протяженности и объема образованных ими диатрем главная масса раздробленного взрывом алмазо-

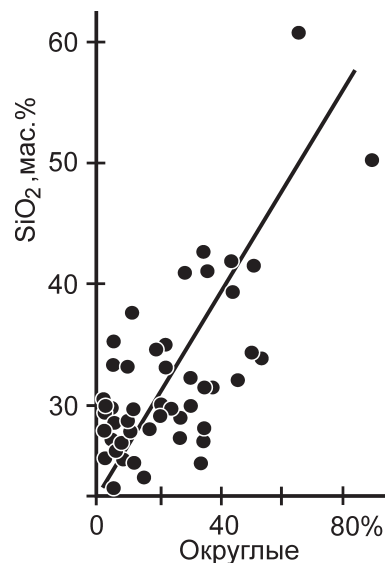


Рис. 2. Зависимость доли округлых кристаллов среди алмазов от содержания кремнекислоты во вмещающих кимберлитах и лампроитах (Шкодзинский, 2014).

Fig. 2. Correlation of part of round diamonds and silica content in kimberlite and lamproite (Шкодзинский, 2014).

носного материала выбрасывалась на земную поверхность и формировала покровы туфов. Большая часть этих покровов, особенно расплоскнутых на возвышенностях, вследствие их рыхлости и небольшой мощности, быстро перемывалась с перемещением алмазов в понижения и с образованием алмазоносных россыпей. Площадь распространения продуктов взрыва крупного вулкана может достигать многих сотен тысяч квадратных километров. Это объясняет присутствие россыпей с неустановленными источниками на огромных площадях. В северной Якутии они присутствуют на площади около 400 тыс. км² (Граханов и др., 2007), в Бразилии – на нескольких миллионах км² (Подчасов и др., 2005). Остатки алмазоносных вулканических покровов могли сохраняться в том случае, если их материал попадал в водоемы и быстро перекрывался более молодыми осадками. Сформированный таким материалом слой очень богатых алмазами (до 13 кар/м³) туффзитов мощностью в десятки сантиметров недавно обнаружен в породах триаса в приустьевой части р. Лены (Граханов, Смелов, 2011). Их алмазы полностью идентичны таковым в россыпях. Аналогичные высокоалмазоносные породы установлены Компанией Diagem в местности Джуина в Бразилии (<http://www.mineral.ru/News/26883/html>), где очень широко распространены россыпи с округлыми алмазами с неизвестными коренными источниками. Эти породы, а не кимберлитовые трубки являются главными ко-

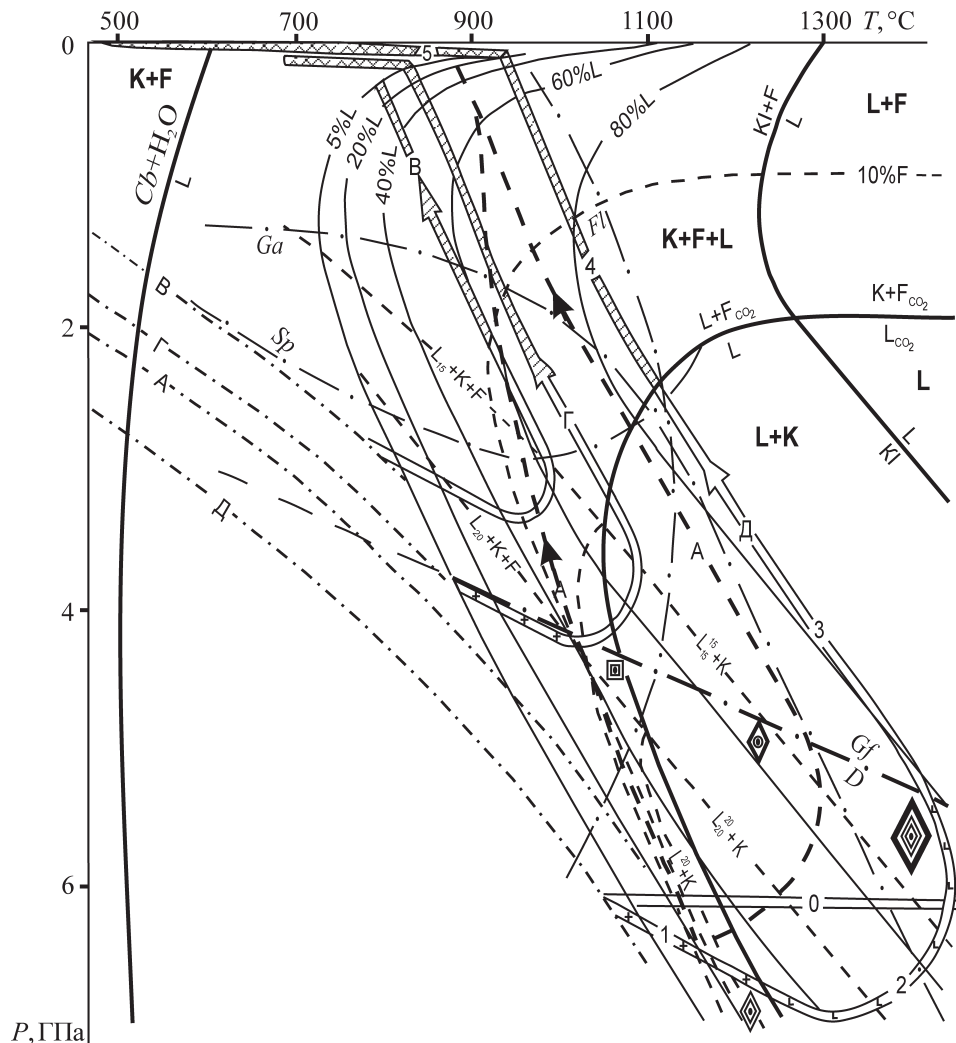


Рис. 3. P - T диаграмма фазового состава и эволюции кимберлитовых магм с 10% H_2O и 10% CO_2 .

Cb – карбонаты, *D* – алмаз, *Ga* – гранат, *Gf* – графит, *F* – флюид, *Fl* – флогопит, *L* – расплав, *Kl* и *K* – твердые фазы кимберлита в ликвидусных и более низкотемпературных условиях, *Sp* – шпинель. *L*, *L + F*, *L + K*, *L + K + F*, *K + F* – поля разного фазового состава. 10% *F*, 20% *L* и др. – содержания флюида и расплава. Верхний и нижний индексы – содержания соответственно CO_2 и H_2O в расплаве. Линии со стрелками *A*, *B*, *G*, *D* – различные варианты выжимания и всплывания кимберлитовых магм. На них: участок 0 – эволюция мантии при остывании океана магмы; 1–3 разные варианты изменения P и T в магмах на глубинных стадиях подъема; 4 и 5 – условия соответственно декомпрессионного затвердевания и эксплозивной дезинтеграции магм. Тонкие штрих-пунктирные линии *A*, *B*, *G*, *D* – различные геотермические градиенты. Рисунки кристаллов – условия образования алмазов различной морфологии (Шкодзинский, 2014).

Fig. 3. P - T diagram of phase state and evolution of kimberlite magmas with 10% H_2O and 10% CO_2 .

Cb – carbonate, *D* – diamond, *Ga* – garnet, *Gf* – graphite, *F* – fluid, *Fl* – phlogopite, *L* – melt, *Kl* and *K* – liquidus and more low-temperature kimberlite phase, *Sp* – spinel. *L*, *L + F*, *L + K*, *L + K + F*, *K + F* – fields of different phase state. 10% *F*, 20% *L* and others – contents of fluid and melt. Top and lower index – contents of CO_2 and H_2O in melt. Lines with arrow *A*, *B*, *G*, *D* – different variants of deep magma ascent. On them: sector 0 – mantle evolution during magma ocean cooling; 1–3 – different variants of deep magma ascent; 4 and 5 – conditions of decompression solidification and explosive disintegration of magmas. Thin stroke lines *A*, *B*, *G*, *D* – different geothermic gradients. Drawings of crystals – conditions of origin of different diamonds (Шкодзинский, 2014).

ренными источниками преимущественно округлых алмазов в россыпях.

Расчитанные количественные модели различных магм (Шкодзинский, 2014) свидетельствуют о том, что на P - T диаграмме для любой магмы существует четыре поля разного фазового состава. В самом высокотемпературном и глубинном устойчив

только расплав (см. поле *L* на рис. 3). В малоглубинном высокотемпературном поле присутствуют расплав и флюид (*L + F*). В глубинном среднетемпературном поле устойчивы расплав и твердые фазы (*L + K*). В менее глубинном к ним присоединяется флюидная фаза (*K + L + F*). Эксплозивные диатремы и покровы туфов должны формировать-

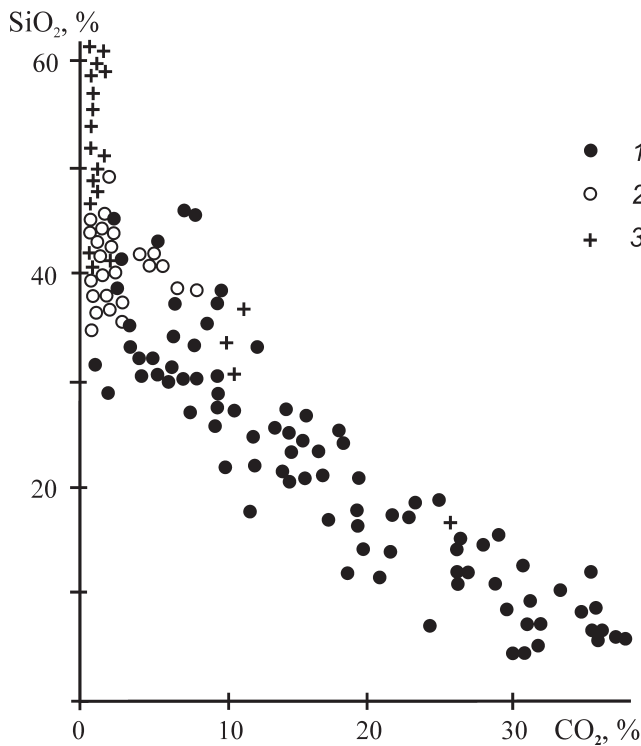


Рис. 4. Соотношение содержаний кремнекислоты и углекислоты в кимберлитах (1), оливиновых (2) и лейцитовых (3) лампроитах (Шкодзинский, 2014).

Fig. 4. Correlation of contents of silica and carbon dioxide in kimberlite (1), olivine (2) and leucite (3) lamproite (Шкодзинский, 2014).

ся только в случае завершения эволюции магм в самом низкотемпературном поле *расплав + твердые фазы + флюид*. Очевидно, что высокотемпературные магмы, завершающие свою эволюцию при подъеме в поле *расплав + флюид*, в общем случае не должны взрываться в связи с отсутствием в них процессов декомпрессионного затвердевания. Выделение и расширение в них флюидной фазы при декомпрессии должно было приводить к вспениванию магмы. Вследствие очень большой подвижности возникшая расплавно-газовая (иногда с примесью твердых фаз) смесь могла прорываться сквозь трещины перекрывающих пород и формировать в них штокверки флюидизитов, содержащие алмазоносный преимущественно стекловатый магматический материал, сильно измененный под влиянием летучих компонентов. Такие породы описаны в Вишерском Урале (Чайковский, 2001; Рыбальченко и др., 2011). Условия образования диатрем, покровов туфов и штокверков флюидизитов схематически показаны на рис. 5. На нем пунктирные линии отражают положение фазовых равновесий в кимберлитовой системе, а сплошные – в лампроитовой.

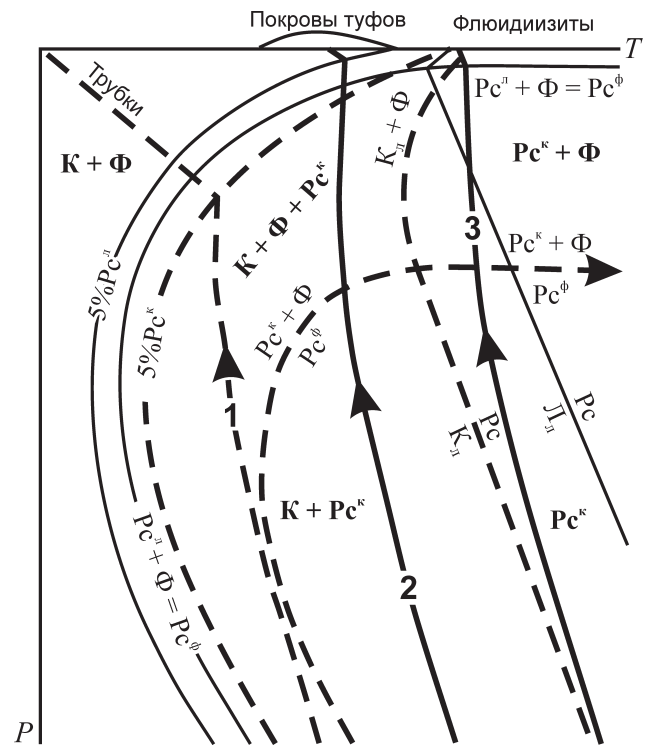


Рис. 5. Схематическая *P-T* диаграмма фазового состава и эволюции кимберлитовых (пунктирные линии) и лампроитовых (сплошные линии) магм.

Линии со стрелками – эволюция поднимающихся магм при образовании трубок (1), покровов туфов (2) и штокверков флюидизитов (3). К и Л – твердые фазы соответственно кимберлита и лампроита, K_n и L_n – то же в условиях ликвидуса; Pc^k , Pc^n и $Pc^φ$ – расплав соответственно кимберлита, лампроита и более богатый летучими компонентами; Φ – флюидная фаза.

Fig. 5. Schematic *P-T* diagram of phase state and evolution of kimberlite (stroke lines) and lamproite (solid lines) magmas.

Lines with arrow – magma evolution with origin pipes (1), tuff covers (2) and fluidite stockwork (3). K and L – solid kimberlite and lamproite, K_n and L_n – liquidus of kimberlite and lamproite; Pc^k , Pc^n and $Pc^φ$ – melt of kimberlite, lamproite and rich volatiles; Φ – fluid.

ПЛЮМОВАЯ ПРИРОДА ОКРУГЛЫХ АЛМАЗОВ

Возникает вопрос: где формировались лампроитовые и близкие к ним по составу магмы и выносимые ими алмазы? Этот минерал мог формироваться только при глубинном магматическом фракционировании, так как лишь при этом процессе происходило необходимое для алмазообразования накопление углерода в остаточном расплаве вследствие незначительного вхождения его в породообразующие минералы. Теоретически существует две области в мантии, где имеется давление, достаточно большое для кристаллизации алмазов при фракционировании (рис. 6). Это нижние части континен-

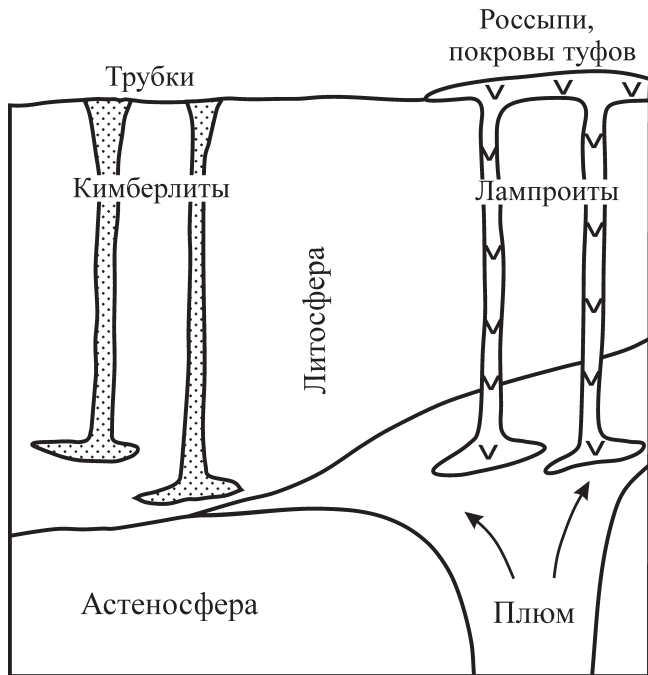


Рис. 6. Схема образования алмазоносных ниже-литосферных кимберлитовых и плюмовых лампроитовых магм.

Fig. 6. Scheme of origin of low-lithosphere kimberlite and plume lamproite magmas.

тальной литосферы, где при затвердевании перидотитового слоя постагрегационного магматического океана формировались кимберлитовые остаточные расплавы и выносимые ими алмазы (Шкодзинский, 2014). Второй областью являются мантийные восходящие потоки (плюмы), в которых под влиянием декомпрессии при подъеме образовались очаги основных магм путем плавления идентичных им по составу пород (эклогитов). Последние были продуктом быстрого компрессионного затвердевания расплава синаккреционного магматического океана, существовавшего при образовании нижней мантии. Кристаллизация и дифференциация возникших основных магм при замедлении или прекращении подъема плюмов в условиях высокого давления под мощной континентальной литосферой привела к образованию лампроитовых и родственных им щелочных остаточных расплавов и могла сопровождаться кристаллизацией алмазов.

Все особенности россыпей с округлыми алмазами подтверждают образование этого минерала во фракционировавшихся очагах щелочно-основных магм в плюмах. Эти алмазы в северных россыпях Якутии содержат в основном включения минералов эклогитового парагенезиса (Граханов и др., 2007), что прямо свидетельствует о возникновении их родоначальных магм путем плавления эклогитов. Казалось бы, парадоксальной особенностью округлых

алмазов россыпей является иногда присутствие в них одновременно включений минералов как нижней (ферропериклаз, MgSi-перовскит, стишовит), так и верхней (пироп, клинопироксен) мантии. Такое сонахождение включений резко разноглубинных минералов установлено в Гвинее, Канаде и некоторых других регионах (Каминский, 2011). Очевидно, что оно хорошо объясняется кристаллизацией алмазов в поднимающихся плюмах сначала в условиях нижней, затем верхней мантии. Кристаллизация алмазов в благоприятных для роста условиях очень большого давления и температуры является причиной их чаще всего большого размера и высокого качества. Объемы тел щелочно-основных пород в среднем во многие десятки раз превосходят объемы кимберлитовых трубок. Это объясняет большие размеры россыпей с округлыми алмазами и обычно огромные запасы последних.

Большая вязкость богатых кремнекислотой основных магм (по сравнению с кимберлитовыми) и ее повышение в остаточных расплавах при кристаллизации являются причиной уменьшения скорости диффузии углерода в них. Это приводит к образованию все меньших по площади слоев роста на гранях кристаллов и возникновению округлых алмазов. На ранних стадиях фракционирования, когда вязкость расплава была еще небольшой, кристаллизовалось также небольшое количество плоскогранных алмазов. Они обычно присутствуют в россыпях наряду с преобладающими округлыми. Поэтому нет оснований предполагать иной генезис в них плоскогранных кристаллов по сравнению с округлыми. В процессе кристаллизации магматических очагов происходило интенсивное накопление летучих компонентов в остаточных расплавах. Это иногда приводило к кристаллизации в них богатых флюидными включениями поздних алмазов разновидностей V и VII, а также агрегатов типа борта. Присутствие таких алмазов указывает на то, что их выносили поздние богатые щелочами и летучими компонентами остаточные магмы. Высокое содержание летучих является причиной интенсивного постагрегационного замещения возникших пород низкотемпературными минералами. Накопление в остаточных расплавах расплавофильных компонентов, видимо, обусловило богатство ими специфических минералов-спутников алмаза в россыпях Урала (Силаев и др., 2009).

Как было показано ранее (Шкодзинский, 2014), кимберлитовые остаточные расплавы формировались на поздних стадиях фракционирования перидотитового слоя магматического океана и образования нижних частей континентальной литосферы. Вследствие этого они являются относительно низкотемпературными и декомпрессионно затвердели при подъеме на относительно большой глубине. Это является причиной формирования ими протяженных трубок и, как правило, отсутствия ким-

берлитовых лав на земной поверхности (линия 1 на рис. 5). Вследствие образования лампроитовых и родственных им остаточных расплавов в высокотемпературных и очень глубинных основных очагах в плюмах и меньшего содержания в них летучих компонентов, их магмы декомпрессионно затвердевали и взрывались на небольшой глубине и формировали преимущественно покровы туфов (линия 2). Самые высокотемпературные их разности достигали земной поверхности без процессов декомпрессионного затвердевания и взрывов и образовывали флюидизиты (линия 3).

Подъем мантийных плюмов происходил преимущественно в подвижных поясах и в океанах и под примыкающими к ним частями платформ. Это объясняет приуроченность крупных россыпей с округлыми алмазами главным образом к краям платформ (Подчасов и др., 2005; Каминский, 2011). Например, россыпи севера Якутии располагаются на северо-восточной окраине Сибирской платформы, Вишерского Урала – на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы, прибрежно-океанические россыпи Африканской платформы – на ее западном краю. Алмазы прибрежных африканских россыпей, видимо, кристаллизовались в магматических очагах мощных плюмов, подъем которых привел к образованию Атлантического океана путем раскола Гондваны. Это согласуется с отсутствием подобных россыпей на восточном побережье Африки и с очень широким распространением их в восточной части Бразилии, примыкающей к Атлантическому океану. Здесь они распространены на континенте преимущественно в удалении на сотни километров от побережья. Это, видимо, связано с влиянием силы Кориолиса на плюмы, приводившей к сильному отклонению их к западу при подъеме. Происхождение алмазов россыпей Бразилии в магматических очагах плюмов подтверждается широким распространением здесь щелочных магматических пород (Подчасов и др., 2005) и отмечавшейся находкой Компанией *Diagem* алмазных туфов. Часто широкое распространение в них механически непрочного борта (до 60% в россыпи Путаренг-Эначи) указывает на небольшой перенос алмазов. Возраст цирконов в северных россыпях Якутии составляет 219–234 млн лет (Граханов и др., 2007), что примерно соответствует времени траппового магматизма Сибирской платформы (210–250 млн лет) и свидетельствует о кристаллизации алмазов этих россыпей в остаточных магматических очагах плюма, генерировавшего этот магматизм при фракционировании.

Декомпрессия на большей части подъема плюмов приводила к процессам плавления в них. Поэтому кристаллизация и фракционирование основных магматических очагов, видимо, происходили лишь при достижении плюмами толстой жесткой литосферы. Ее сопротивление вызывало рез-

кое замедление или прекращение их подъема, что сопровождалось остыванием очагов под влиянием более холодного окружения, и к протеканию в них процессов фракционирования и алмазообразования. В обширных океанических областях обычно нет мощной литосферы, которая создавала бы необходимое для алмазообразования высокое давление в магматических очагах плюмов. Поэтому алмазные россыпи не типичны для этих областей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все приведенное выше вполне определенно свидетельствует о формировании округлых и ассоциирующихся с ними плоскогранных алмазов россыпей в мантийных плюмах. Это позволяет различать плюмовые преимущественно лампроитовые алмазы и нижнелитосферные кимберлитовые (см. рис. 6), возникавшие при фракционировании перидотитового слоя магматического океана. Подъем содержащих плюмовые алмазы магм не сопровождался формированием протяженных диатрем, относительно легко устанавливаемых геофизическими исследованиями. Поэтому для широко распространенных россыпей с такими алмазами обычно не удастся выявить ранее предполагавшиеся их диатремовые коренные источники. Огромные размеры россыпей с плюмовыми округлыми алмазами, высокое качество и большие запасы в них этого минерала указывают на то, что они являются не менее крупным и ценным источником алмазов, чем кимберлиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. и др. (2000) Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов **V** и **VII** разновидности (по классификации Ю.Л. Орлова). *Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. Вып. 5.* (10), 79-96.
- Воларович М.П., Корчемкин П.И. (1937) Связь между вязкостью расплавленных горных пород и кислотностью по Ф.Ю. Левинсону-Лессингу. *Докл. АН СССР.* **17**(8), 413-418.
- Граханов С.А., Смелов А.П. (2011) Возраст прогнозируемых коренных источников алмаза на севере Сибирской платформы. *Отчет геология.* (5), 56-63.
- Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А. и др. (2007) Россыпи алмазов России. Новосибирск: ГЕО, 457 с.
- Епифанов В.А., Родин Р.С. (1991) Геологические предпосылки альтернативного механизма алмазообразования на Сибирской платформе. *Рудоносность магматических формаций Сибири.* Новосибирск: СНИИГГиМС, 119-128.
- Каминский Ф.В. (2011) Минералогия и геохимия нижней мантии. *Чтения им. В.И. Вернадского. Л. М.: ГЕОХИ РАН,* 65 с.
- Мальков А.Б. (2009) Ксенолиты и ксенокристаллы в кимберлитах России. Сыктывкар, 96 с.
- Подчасов В.М., Евсеев М.Н., Минорин В.Е. и др. (2005)

- Россыпи алмазов Мира. М.: Геоинформарк, 747 с.
- Рыбальченко А.Я., Рыбальченко Т.М., Силаев В.И. (2011) Теоретические основы прогнозирования и поиска коренных источников алмазов туффизитового типа. *Изв. Коми НЦ УрОРАН. Вып. 1 (5)*. Сыктывкар, 54-66.
- Силаев В.И., Чайковский И.И., Харитонов Т.В. и др. (2009) К проблеме атипичных и нетрадиционных минералов-спутников алмаза (на примере Урала). Сыктывкар: Геопринт, 65 с.
- Таблицы физических величин. (1976) (В.Г. Аверин, Б.А. Аронзон, В.С. Бабаев и др.) М.: Атомиздат, 1006 с.
- Шкодзинский В.С. (2014) Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли). Якутск: СВФУ, 452 с.
- Чайковский И.И. (2001) Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластов Вишерского Урала. Пермь: ПГУ, 324 с.
- Sunagava I. (1984) *Materials science of the Earth's interior*. Tokio, 635 p.

Рецензент И.И. Чайковский

Plume genesis of non-kimberlite diamonds

V. S. Shkodzinskiy

Diamond and Precious Metal Geological Institute, SB RAS

Calculations shown that a relatively low-temperature kimberlite magmas consolidated with decompression exploded on significant depth and formed pipes. High-temperature lamproite magmas exploded on near-surface conditions and formed mainly tuff covers. Their erosion formed diamond placers. Kimberlite magmas and their diamonds are a result of fractionation peridotite layer of magma ocean. Lamproite magmas and their diamonds are a result of fractionation of magmatic chambers in plumes. Non-kimberlite diamonds of placers have lamproite plume genesis.

Key words: *diamonds, plumes, lamproite, kimberlite, decompression consolidating.*