

7. Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
8. Tomshin M.D., Travin A.V., Konstantinov K.M. The sequence of magmatic events within the Nakyn kimberlite field / Large Igneous Provinces, Mantle Plumes and Metallogeny in the Earth's History (Abstract Volume). September 1–8, 2015. Irkutsk – Listvyanka, Russia – Irkutsk: Publishing House of V.B. Sochava institute of Geography SB RAS, 2015. P. 128–129.
9. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
10. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб.: Питер, 2001. 658 с.
11. Винарский Я.С., Житков А.Н., Кравчинский А.Я. Автоматизированная система обработки палеомагнитных данных ОПАЛ. – Алгоритмы и программы. Вып. 10(99) / ВНИИ экон. минер. сырья и геологоразвед. работ. М.: ВИЭМС, 1987. 86 с.
12. Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Sidney: Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Canada. 1994. 16 p.
13. Константинов К.М., Стегницкий Ю.Б. Позднесилурийская-раннедевонская естественная остаточная намагниченность кимберлитов и траппов Якутской алмазоносной провинции. Доклады РАН. 2012. Т. 442, № 3. С. 394–400.
14. Kravchinsky V.A., Konstantinov K.M., Courtillot V. et. al. Paleomagnetism of East Siberian traps and kimberlites: two new poles and paleogeographic reconstructions at about 360 and 250 Ma // Geophys. J. Int. 2002. № 48. P. 1–33.
15. Константинов К.М. Магнетизм кимберлитов и траппов зоны сочленения Вилуйской и Тунгусской синеклиз Сибирской платформы: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Иркутск: Изд-во Иркутского госуниверситета, 2014. 34 с.
16. Tarling D.H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rocks. London: Chapman & Hall, 1993. 217 p.
17. Day R., Fuller M.D., Schmidt V.A. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and composition dependence // Phys. Earth Planet. Inter. 1977. V. 13. P. 260–267.
18. Буров Б.В., Ясонов П.Г. Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. Казань: Изд-во Казанского госуниверситета, 1979. 231 с.
19. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
20. Константинов К.М., Ибрагимов Ш.З., Хузин М.З. и др. Палеомагнитный полюс базальтов аппаинской свиты: репер франа Сибирской платформы // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 13. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2015. С. 122–124.
21. Палеомагнитные направления и палеомагнитные полюса // Материалы МЦД-Б. Справочные данные по СССР / Под ред. А.Н. Храмова. Вып. 2. М., 1973. 90 с.
22. Печерский Д.М., Диденко А.Н. Палеооазиатский океан: петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 298 с.
23. Храмов А.Н. Стандартные ряды палеомагнитных полюсов для плит северной Евразии: связь с проблемами палеогеодинамики территории СССР // Палеомагнетизм и палеогеодинамика территории СССР. Л.: ВНИГРИ, 1991. 125 с.
24. Брахфогель Ф.Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. 128 с.

Поступила в редакцию 11.02.2016

УДК 549.211

Происхождение алмазов россыпей с неизвестным коренным источником

В.С. Шкодзинский

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

Приведены доказательства кристаллизации алмазов россыпей с неизвестным коренным источником во фракционировавших очагах щелочно-основных магм в плюмах под мощной литосферой. Об

ШКОДЗИНСКИЙ Владимир Степанович – д.г.-м.н., в.н.с., shkodzinskiy@diamond.ysn.ru.

этом свидетельствуют чаще всего округлая форма их алмазов, эклогитовый парагенезис включений в них, приуроченность к окраинам платформ. Вследствие повышенной температуры выносившие их магмы формировали в основном покровы алмазоносных туфов, которые быстро преобразовывались в россыпи.

Ключевые слова: алмазы, плюмы, россыпи, мантия, генезис диатрем.

Genesis of Diamonds of Placers with Unknown Primary Source

V.S. Shkodzinskiy

Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk

Proofs that diamonds of placers with unknown primary source were crystallized in the fractionating centers of alkaline magmas in plume chambers under thick lithosphere are provided. It is corroborated by rounded shape of the diamonds, eclogite paragenesis of inclusions in them, position of these placers at platform edges. Owing to the increased temperature the magmas which carried the diamonds out formed generally the covers of diamondiferous tuffs which quickly transformed to placers.

Key words: diamonds, plumes, placers, mantle, diatreme genesis.

Почти на всех древних платформах присутствуют уникальные крупные россыпи преимущественно округлых алмазов с неизвестными или точно не установленными коренными источниками. Например, вдоль юго-западного побережья Африки в районе устья р. Оранжевой на 1500 км протягиваются прибрежно-океанические россыпи алмазов, запасы которых оцениваются в 1 – 3 миллиарда карат [1]. В них алмазы очень крупные (средняя масса до 2 карат) и высококачественные (средняя цена партий до 1000 долларов за карат). 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 такому предположению противоречат отсутствие существенного механического износа в этих алмазах (лишь в 5 % их есть признаки износа), редкость в россыпях индикаторных минералов кимберлитов и небольшая способность крупных алмазов к переносу в связи с несмачиваемостью их водой. Для определения источника алмазов этих россыпей в Западно-Африканской кимберлитовой провинции были отобраны большие (до нескольких тысяч тонн) пробы из находящихся здесь кимберлитовых трубок. Но в них не удалось обнаружить ни одного крупного ювелирного алмаза, характерного для россыпей [1].

Другим примером являются россыпи Северной Якутии. Здесь на сравнительно небольшом по площади бассейне р. Эбелях (около 2000 км²) находится 52,3 % россыпных алмазов России

[2]. Поэтому предполагается, что коренные источники этих россыпей были уникально богатыми. Однако десятки лет поисков не привели к их открытию, хотя главные промышленные кимберлитовые трубки в Западной Якутии были найдены в основном за 5 – 6 лет исследований. Обнаруженные трубки в районе северных россыпей не алмазоносны или скудно алмазоносны. Выяснилось также, что широко распространенные (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 их алмазы принесены из трубок, существовавших в прошлом на сотни километров севернее в дельте р. Лены или в районе Приверхоянского прогиба [2, 3]. Этим предположениям противоречат присутствие в россыпях в основном гальки местных пород, широкое распространение в них механически непрочных высокодефектных алмазов V и VII разновидностей, которые разрушились бы при длительном переносе. Кроме того, реки обычно текут с центральных в краевые части континентов, поэтому предполагаемый перенос алмазов навстречу их течению является маловероятным.

Происхождение округлых алмазов

Очевидно, что для решения проблемы коренных источников россыпей необходимо выяснить происхождение типичных для них алмазов. Как показал анализ опубликованных данных [4], для многочисленных россыпей с неустановленными коренными источниками во всем мире характерна высокая доля округлых додекаэдро-

идов алмаза. В россыпях Вишерского Урала их доля достигает 80–90 %, в северных россыпях Якутии – 60–70 %, хотя в промышленных трубках этого региона их количество равно первым процентам [2]. Для округлых алмазов обычно предполагается образование 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. Кроме того, округлые алмазы имеют пониженную величину удельной интенсивности рентгенолюминисценции, указывающую на более высокую дефектность их вещества. Иные свойства их вещества по сравнению с плоскогранными октаэдрами свидетельствуют о формировании округлых кристаллов не путем растворения плоскогранных, а в результате роста.

Сунагава [5] показал, что морфология формирующихся кристаллов алмаза определяется степенью пересыщения среды образования углеродом. Она возрастает с уменьшением коэффициента диффузии этого компонента. Из формулы Эйнштейна-Стокса $D = RTr / (6\pi\eta r)$ 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) [6]. Вязкость расплава сильно возрастает с увеличением содержания в нем кремнекислоты (рис. 1). Поэтому в кристаллизовавшихся магмах рост содержания кремнекислоты в остаточных расплавах приводил к снижению коэффициента диффузии углерода и к возрастанию степени пересыщения им расплавов. Вследствие этого на гранях кристаллов формировались все меньшие по площади слои роста и алмазы ста-

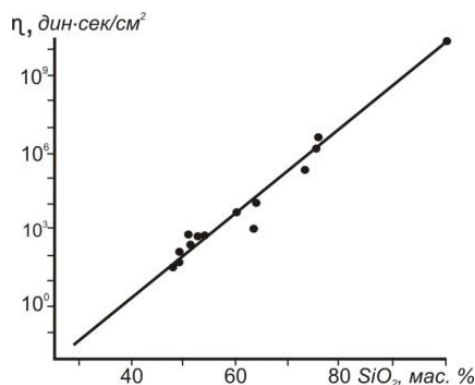


Рис. 1. Зависимость вязкости алюмосиликатных расплавов от содержания в них кремнекислоты [7]

новились округлыми [4]. Из этого следует, что в большом количестве округлые алмазы кристаллизовались в магмах, богатых 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 1,5–2 раза больше кремнекислоты, чем кимберлиты.

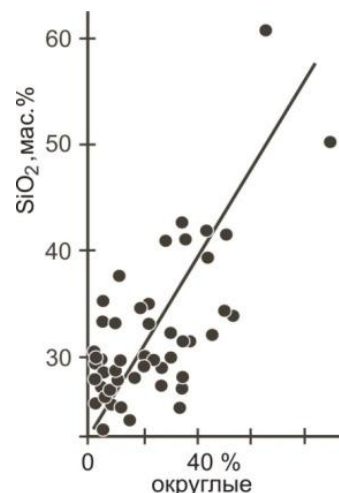


Рис. 2. Зависимость доли округлых кристаллов среди алмазов от содержания кремнекислоты во вмещающих кимберлитах и лампроитах [4]

Причина отсутствия высокоалмазоносных трубок в районе распространения россыпей с округлыми алмазами

Лампроитовую природу коренных источников северных россыпей Якутии предполагали некоторые исследователи [8]. Однако это 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 [4]. 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 поднимавшихся магматических колонн под влиянием законсервированного затвердеванием высокого внутреннего давления

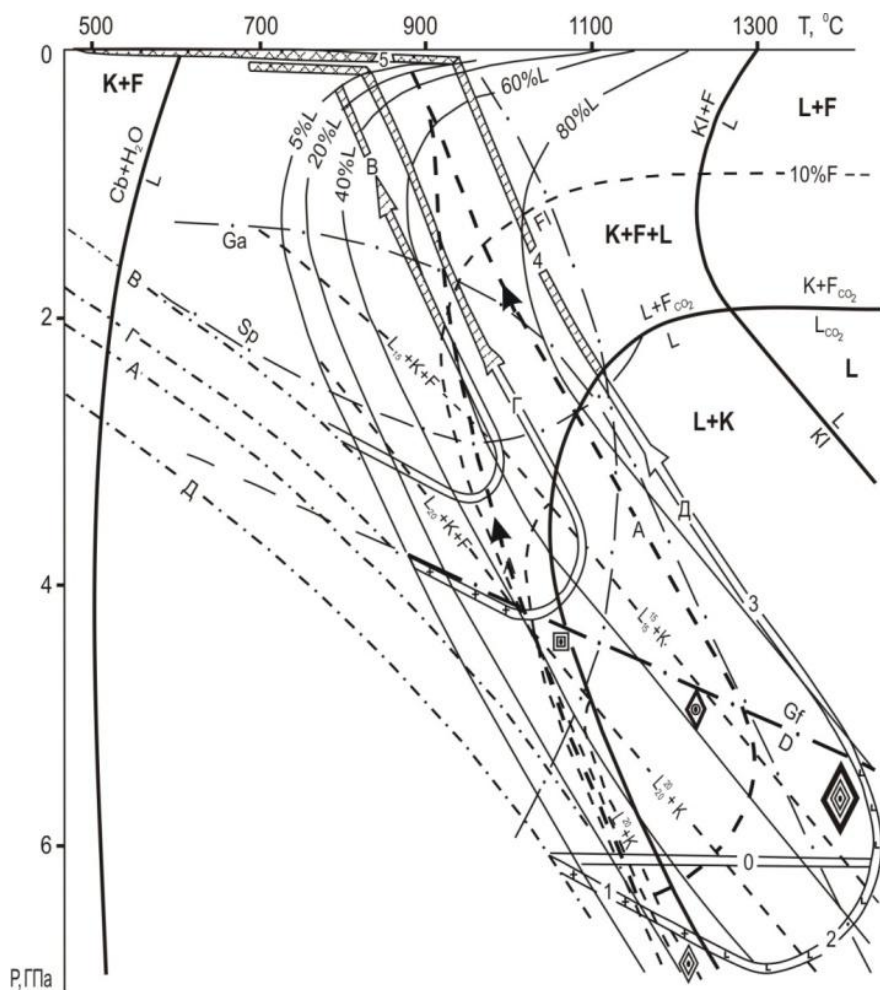


Рис. 3. Р-Т диаграмма фазового состава и эволюции кимберлитовых магм с 10 % H_2O и 10 % CO_2 : Сб – карбонаты; D – алмаз; Ga – гранат; Gf – графит; F – флюид; Fl – флогопит; L – расплав; Kl и K – твердые фазы кимберлита в ликвидусных и более низкотемпературных условиях; Sp – шпинель. L, L+F, L+K, L+K+F, 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 А, В, Г, Д – различные варианты выжимания и всплывания кимберлитовых магм. На них участок 0 – эволюция мантии при остывании океана магмы; 1–3 – различные варианты изменения Р и Т в магмах на глубинных стадиях подъема; 4 и 5 – условия соответственно декомпрессионного затвердевания и эксплозивной дезинтеграция магм. Тонкие штрихпунктирные линии А, В, Г, Д – различные геотермические градиенты. Рисунки кристаллов – условия образования алмазов различной морфологии [4]

газовой фазы (участки 5). В результате формировались взрывные диатремы и различные брекчии.

Анализ рассчитанной по экспериментальным и термодинамическим данным количественной модели кимберлитовых магм (рис. 3) [4] свидетельствует, что протяженность диатрем в основном определялась температурой и содержанием летучих компонентов в магмах, особенно труднорастворимой в расплаве углекислоты. Содержание ее в лампроитах в среднем составляет около 1 %, а в кимберлитах – около 18 %. 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 чаще всего должны относительно 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. Подобные диатремы частично сохранились в Бразилии, где щелочной магматизм является относительно молодым (92–95 миллионов лет) [9].

Важной особенностью взрывов лампроитовых магм было то, что вследствие небольшой

протяженности и объема образованных ими диатрем главная масса раздробленного взрывом алмазонасного материала выбрасывалась на земную поверхность и формировала покровы туфов. Большая часть этих покровов, особенно расположенная на возвышенностях и склонах, вследствие их рыхлости и небольшой мощности, быстро размывалась с перемещением алмазов в понижения и с образованием алмазонасных 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 распространены на площади около 400 тысяч км² [2], в Бразилии – на нескольких миллионах км² [1]. Остатки алмазонасных вулканических покровов могли сохраняться в том случае, если их материал падал в водоемы и быстро перекрывался более молодыми осадками. Сформированный таким материалом слой очень богатых алмазами (до 13 кар/м³) туффизитов мощностью в десятки сантиметров обнаружен в породах триаса в приустьевой части р. Лены [10]. Их алмазы полностью идентичны таковым в россыпях. Слой аналогичных высокоалмазонасных туфов установлен 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 коренными источниками преимущественно округлых алмазов в россыпях.

Рассчитанные количественные модели различных магм [4] свидетельствуют, что на Р-Т диаграмме для любой магмы существуют 4 поля различного фазового состава. В самом высокотемпературном и глубинном устойчив только расплав (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 на рис. 3). Эксплозивные диатремы и покровы туфов должны формироваться только в случае завершения эволюции магм в самом низкотемпературном поле расплав + твердые фазы + флюид. Вследствие зарождения в астеносфере лампроитовые магмы чаще должны иметь более высокую первичную температуру, чем кимберлитовые, образовавшиеся в относительно низкотемпературной литосфере. Очевидно, что магмы, завершающие свою эволюцию при подъеме в поле расплав + флюид, в общем случае не должны взрываться в связи с отсутствием про-

цессов 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 небольшим количеством твердых фаз) смесь могла прорываться сквозь трещины перекрывающих пород и формировать в них штокверки флюидизитов, содержащие алмазонасный преимущественно стекловатый магматический материал, сильно измененный под влиянием летучих компонентов. Такие породы описаны в Вишерском Урале [11]. Условия образования диатрем, покровов туфов и штокверков флюидизитов схематически показаны на рис. 4. На нем пунктирные линии отражают положение фазовых равновесий в кимберлитовой системе, а сплошные – в лампроитовой.

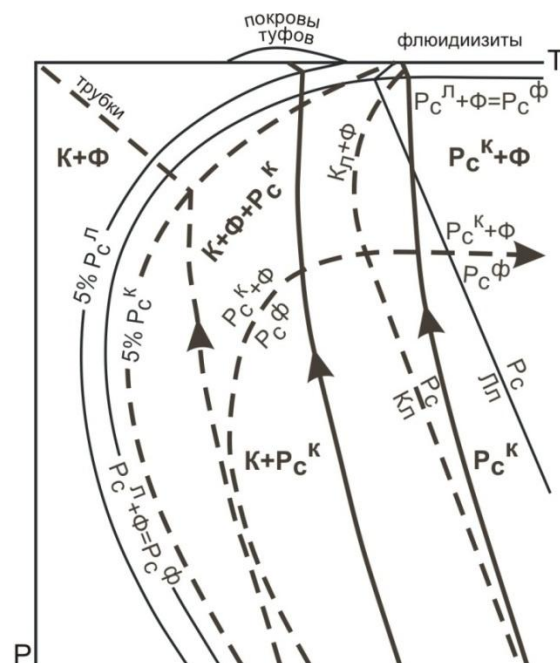


Рис. 4. Схематическая Р-Т диаграмма фазового состава и эволюции кимберлитовых (пунктир) и лампроитовых (сплошные линии) магм. Линии со стрелками – эволюция поднимающихся магм при образовании трубок, покровов туфов и штокверков флюидизитов. К и Л – твердые фазы соответственно кимберлита и лампроита; K_L и L_L – то же в условиях ликвидуса; Pc^k , Pc^l и Pc^ϕ – расплав соответственно кимберлита, лампроита и более богатый летучими компонентами; Φ – флюидная фаза

Плюмовая природа округлых алмазов

Возникает вопрос, где образовались 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 алма-

зобразования накопление углерода в остаточном расплаве, вследствие незначительного вхождения его в породообразующие минералы. Теоретически существуют две области в мантии, где происходили процессы, благоприятные для кристаллизации алмазов при фракционировании (рис. 5). Это нижние части континентальной литосферы, где при затвердевании перидотитового слоя постаккреционного магматического океана формировались кимберлитовые остаточные расплавы и выносимые ими алмазы [4]. Второй областью являются мантийные восходящие потоки (плюмы), в которых под влиянием декомпрессии при подъеме образовались очаги основных магм путем плавления идентичных им по составу эклогитов. Последние были продуктом быстрого компрессионного затвердевания расплавов синаккреционного магматического океана, существовавшего при образовании нижней мантии. Кристаллизация и дифференциация возникших толеитовых магм при замедлении или прекращении подъема плюмов в условиях высокого давления под мощной континентальной литосферой приводила 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 фракционировавших верхнемантийных очагах щелочно-основных магм в плюмах. Эти алмазы в северных россыпях Якутии содержат в основном включения минералов эклогитового парагенезиса [2], что прямо свидетельствует о возникновении их родоначальных магм путем плавления эклогитов. Казалось бы, парадоксальной особенностью округлых алмазов россыпей является иногда присутствие в них в не-

которых регионах одновременно включений минералов как нижней (ферропериклаз, MgSi -перовскит, стишовит), так и верхней (пироп, пироксен) мантии. Такое сонахождение включений резко разноглубинных минералов установлено в Бразилии, Гвинее, Канаде и в некоторых других регионах [12]. Очевидно, что оно хорошо объясняется кристаллизацией алмазов в поднимавшихся 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 является причиной уменьшения скорости диффузии углерода в них. Это приводило к образованию все меньших по площади слоев роста на гранях кристаллов и к возникновению округлых алмазов. На ранних стадиях фракционирования, когда вязкость расплавов была еще небольшой, кристаллизовалось также небольшое количество плоскогранных алмазов. Они обычно присутствуют в россыпях наряду с преобладающими 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. Последний широко распространен в россыпях Бразилии. Присутствие таких алмазов указывает, что их выносили поздние богатые щелочами и летучими компонентами остаточные магмы. Высокое содержание летучих является причиной интенсивного постмагматического замещения возникавших пород низкотемпературными минералами.

Большое давление при кристаллизации, вследствие сокращения поля устойчивости и масштабов отсадки бедного кремнекислотой оливина, приводит к уменьшению содержания кремнекислоты в остаточных расплавах. Поэтому при фракционировании толеитовых магм в малоглубинных условиях возникают кислые остаточные расплавы, в условиях верхней мантии — щелочно-основные. В условиях нижней мантии отсадка в кристаллизовавшихся толеитовых магмах MgSi -перовскита, $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$,

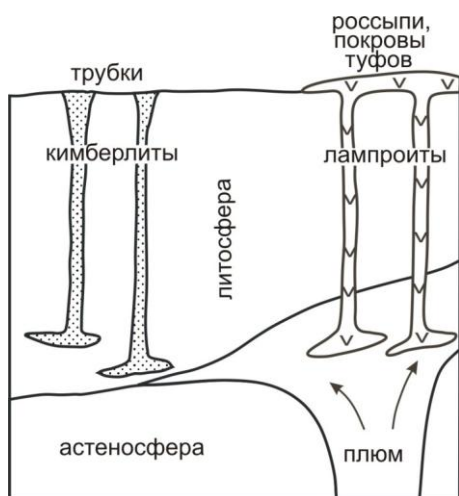


Рис. 5. Схема образования алмазоносных нижнелитосферных кимберлитовых и плюмовых лампроитовых магм

имеющего в два раза большую величину отношения $\text{Si}/(\text{Mg,Fe})$, чем оливин, $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, и особенно отсадка стишовита, SiO_2 , должны были приводить к сильному обеднению остаточных расплавов кремнекислотой. Поэтому здесь фракционирование толеитовых магм, видимо, сопровождалось возникновением щелочно-ультраосновных остаточных расплавов. Это подтверждается широким развитием кимберлит-камафугитой магматической ассоциации в Бразилии [13], где наиболее часто встречаются ультравысокобарические включения в алмазах. Для алмазов щелочно-ультраосновных пород и связанных с ними россыпей менее характерны округлые додекаэдрониды вследствие пониженного содержания кремнекислоты в остаточных расплавах.

Подъем мантийных плюмов происходил преимущественно в подвижных поясах, в океанах и под примыкающими к ним частями платформ. Это объясняет приуроченность крупных россыпей с округлыми алмазами главным образом к краям платформ [1, 12]. Алмазы россыпей побережья Атлантического океана в Африке, видимо, кристаллизовались в магматических очагах мощных плюмов, подъем которых привел к образованию этого океана путем раскола Гондваны. Возраст цирконов в северных россыпях Якутии составляет 219–234 млн лет [2], что примерно соответствует времени траппового магматизма Сибирской платформы (210–250 млн лет) и указывает на кристаллизацию алмазов этих россыпей в фракционировавших остаточных магматических очагах плюма, генерировавшего этот магматизм.

Заключение

Приведенное рассмотрение вполне определенно свидетельствует о формировании округлых и ассоциирующих с ними плоскогранных алмазов россыпей в мантийных плюмах. Это позволяет выделить плюмовые преимущественно лампроитовые алмазы в отличие от нижнелитосферных кимберлитовых (рис. 5), возникавших 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. Огром-

ные 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.

Литература

1. Подчасов В.М., Евсеев М.Н., Минорин В.Е. и др. Россыпи алмазов Мира. М.: Геоинформарк, 2005. 747 с.
2. Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А. и др. Россыпи алмазов России. Новосибирск: ГЕО, 2007. 457 с.
3. Мальков А.Б. Ксенолиты и ксенокристаллы в кимберлитах России. Сыктывкар, 2009. 96 с.
4. Шкодзинский В.С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли). Якутск: СВФУ, 2014. 452 с.
5. Sunagava I. Materials science of the Earth's interior. Tokyo, 1984. 635 p.
6. Таблицы физических величин: Справочник / В.Г. Аверин, Б.А. Аронзон, В.С. Бабаев и др. М.: Атомиздат, 1976. 1006 с.
7. Воларович М.П., Корчемкин П.И. Связь между вязкостью расплавленных горных пород и кислотностью по Ф.Ю. Левинсону-Лессингу // Доклады АН СССР. 1937. Т. 17, № 8. С. 413–418.
8. Епифанов В.А., Родин Р.С. Геологические предпосылки альтернативного механизма алмазообразования на Сибирской платформе // Рудоносность магматических формаций Сибири. Новосибирск: СНИИГиМС, 1991. С. 119 – 128.
9. Araujo D.P., Bulanova G.P., Walter M.J. et al. Juna-5 kimberlite (Brazil): a source of unique lower mantle diamonds // 10th International Kimberlite Conference, Bangalore. ExtendedAbstract. 2012. 101KC-198.
10. Граханов С.А., Смелов А.П. Возраст прогнозируемых коренных источников алмаза на севере Сибирской платформы // Отечественная геология. 2011. № 5. С. 56 – 63.
11. Чайковский И.И. Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластов Вишерского Урала. Пермь: изд. ПГУ, 2001. 324 с.
12. Каминский Ф.В. Минералогия и геохимия нижней мантии. Чтения им. В.И. Вернадского. Л. М.:ГЕОХИРАН, 2011. 65 с.
13. Felgate M., Phillips D., Hergt J., Woodhead J. The brazilian kimberlite-kamafugite association: a new and improved geochronological and geochemical investigation // 10th International Kimberlite Conference, Bangalore. ExtendedAbstract. 2012. 101KC-243.

Поступила в редакцию 10.03.2015