

ОБ ИСТОЧНИКЕ ГАЗОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ДИАТРЕМ

В.А. Смирнов

ГОУ ВПО «Пермский государственный университет», г. Пермь

Рецензент С.И. Дворецкий

Ключевые слова и фразы: диатрема; кимберлит; подводный канал; термическая диссоциация карбоната; флюидизация.

Аннотация: Обсуждается новый взгляд на механизм образования кимберлитовых тел. Высказано предположение, что основная масса газов, участвующих в формировании диатрем, представлена углекислым газом, выделяющимся из ультраосновной магмы при термической диссоциации содержащегося в ней карбоната кальция.

В геологии кимберлитов есть ряд вопросов, на которые в настоящее время нет четкого однозначного ответа. Во-первых, это касается распространения в природе кимберлитовых лав: эффузивные аналоги кимберлитов в природе встречаются исключительно редко [2], а эффузивных аналогов кальциевых карбонатитов вообще не существует. Во-вторых, концентрация карбоната кальция в кимберлитах подводных каналов диатремы стабильно превышает концентрацию в кимберлитовых брекчиях. В-третьих, объем растворенного в магме газа, способный выделиться из магмы при ее подъеме к поверхности, явно недостаточен для поддержания флюидизационного процесса.

Классические представления об образовании диатрем. В середине XX века большинство гипотез формирования диатрем предусматривало быстрый подъем магмы по системе тонких трещин с глубин 200–300 км и взрывное происхождение диатремы в результате высвобождения растворенных в магме газов. Так, по Дж. Доусону, на глубине 1,5–3 км «независимо от температуры удельный объем растворенных воды и CO₂ резко возрастает при давлениях 0,4...0,8 кбар ... Адиабатическое расширение растворенной в магме CO₂ ... могло обусловить быструю транспортировку вверх глубинного материала; Мак-Гетчин подсчитал, что скорость движения флюидизированного материала у поверхности составляла около

Смирнов В.А. – геолог ЗАО «Пермгеологодобыча»; сотрудник кафедры минералогии и петрографии ПГУ, г. Пермь.

400 м/с. Первичное взрывное жерло могло продолжаться вверх благодаря разрушающему воздействию флюидизированного обломочного материала...» [2]. Заметим, что даже ядерные взрывы, произведенные на меньших глубинах, не ведут к выбросу на поверхность вышележащих пород [8].

В настоящее время доказано, что диатремы являются телами флюидизатного генезиса. Суть флюидизатного механизма сформулирована И.И. Голубевой: «При подъеме магмы давление в ней падает, вследствие чего происходит взрывное отделение газовой составляющей. Магма вскипает, образуя т.н. *магматогенный флюидизат* – смесь расплавленных и застывших обломков лавы и обломков вмещающих пород в газовой струе. Характер движения газовой-твердого потока турбулентный, с резкими вариациями динамического режима отдельных струй» [1].

Обязательным условием для образования диатрем является огромное количество газа, заставляющего кипеть, перемешиваться слагающие трубку расплавленные и затвердевшие магматические породы (кимберлиты, лампроиты, базальты). Однако количество растворенного в магме подводящих каналов газа невелико. В.А. Милашев приводит расчеты Л.К. Грейтона, согласно которым «...на глубине заложения кимберлитовых трубок (2,0–2,5 км) освобождается примерно половина общего количества летучих компонентов ультраосновной магмы, что при исходном содержании их 3–4 % составит 1–2 % от массы расплава. При допустимых размерах (10×500 м) подводящего канала у средней по величине кимберлитовой диатремы и при интервале глубин эффективного газоотделения 500 м масса газовой фазы может составить 10–100 тыс. тонн, что примерно на два порядка меньше количества, необходимого для формирования полости трубки в ходе любого, особенно взрывного, механизма процесса» [5].

Разложение карбоната кальция. В настоящей работе предлагается модель принципиально иного, гораздо более интенсивного, источника углекислого газа. Она подразумевает хорошо известную реакцию термической диссоциации содержащегося в магме карбоната кальция. Мы предполагаем существование трех источников газов, участвующих в формировании диатрем:

- 1) газы, растворенные в магме;
- 2) диоксид углерода, выделяющийся при распаде молекул карбоната кальция;
- 3) газы, выделяющиеся из вмещающих пород (H_2O , а в случае формирования диатрем в *карбонатных породах* – CO_2 , выделяющийся при их термическом разложении).

Как известно [3], термическая диссоциация карбоната кальция в условиях нормального атмосферного давления происходит при температуре 825...912 °С, а доломита – при 550...770 °С. При температуре 1290 °С и давлении 170 атм. происходит плавление кальцита. В условиях низкого давления и высокой температуры карбонаты кальция и магния не могут не разлагаться; кимберлитовая магма, имеющая температуру 1240...1670 °С [4], попросту не может существовать в условиях земной поверхности, и этим объясняется отсутствие в природе эффузивных разностей кальциевых кимберлитов и карбонатитов.

Процесс термического разложения карбоната кальция широко применяется в промышленности – это получение оксида кальция путем обжига известняка. Расчеты показывают, что при термическом разложении 1 моля кальцита образуется 56 г CaO и 44 г CO₂ (– 37,94 ккал) [10]. В пересчете на более осязаемые величины: из 1 тонны кальцита выделяется 440 кг углекислого газа, занимающего, при атмосферном давлении, согласно закону Авогадро, объем 225 м³, и 560 кг оксида кальция. Из 1 м³ карбонатного расплава должно выделиться 610 м³ углекислого газа.

Термическая диссоциация кальцита в процессе кимберлитобразования рассматривалась и ранее многими исследователями, в частности – В.С. Петровым [6], но лишь как источник углерода при образовании алмаза.

Состав различных фаций кимберлитов. Наглядным свидетельством того, что процесс разложения карбоната кальция имел место, является несоответствие химического состава кимберлитов, выполняющих диатремы и подводные каналы. Общеизвестно, что кимберлиты, слагающие подводные каналы диатрем, стабильно содержат высокие концентрации CO₂ – более высокие, чем в заполняющих диатремы кимберлитовых брекчиях; нередко они представлены карбонатами [2]. Диоксид углерода содержится преимущественно в составе карбоната кальция, имеющего в подводных каналах магматическое происхождение, а в диатремах – большей частью вторичное [2]. В качестве примера В.С. Трофимов [8] приводит данные А.Д. Харькива [9] о соотношении химического состава первичного трубчатого и остаточного жильного кимберлитовых расплавов двух трубок (в вес. %):

– Якутия, трубка 1. В подводном канале – 37,55 % CaO и 33,3 % CO₂, в диатреме – 14,22 % CaO и 11,28 % CO₂;

– ЮАР, трубка Премьер. В подводном канале – 28,50 % CaO и 16,94 % CO₂, в диатреме – 6,63 % CaO и 0,35 % CO₂.

Именно эта разность концентраций, характерная и для большинства других трубок, является, по нашему мнению, следствием термической диссоциации магматогенного карбоната кальция при выходе кимберлитовой (карбонатитовой) магмы на поверхность. В первом случае, породы подводного канала при преобразовании в кимберлитовую брекчию за счет потери карбоната кальция лишились 41,6 % своего веса, во втором – 37,7 %. Соответственно, из 1 м³ кимберлита должно было выделиться порядка 250 и 230 м³ углекислого газа. Отметим, что при разложении 1 м³ карбонатитов, в принципе, может выделяться до 600 м³ газа.

Кальций в небольших количествах входит в состав пироксенов, гранатов, перовскита. Углерод же присутствует лишь в составе карбонатов, и поэтому по содержанию в породе именно диоксида углерода можно судить о концентрации в кимберлите карбонатных соединений.

Более высокую концентрацию карбоната кальция в кимберлитах подводных даек по сравнению с кимберлитами диатрем подчеркивает и Дж. Доусон: «Тот факт, что «карбонатитовый кимберлит» большей частью ограничен в своем распространении дайками и силлами и не встречается в диатремах, позволяет предположить, что этому типу кимберлита свойст-

венна гипабиссальная обстановка формирования (когда сохраняется первичный карбонат)» [2].

Он же придает большое значение высокой концентрации карбоната кальция в процессе кимберлитобразования: «Клемент предоставил хорошие свидетельства того, что, по крайней мере, часть флюида является обогащенной кальцитом жидкостью, которая отделилась от продвигающегося кверху кимберлита в результате несмесимости. В качестве комбинированной модели внедрения кимберлитов можно представить, что обогащенная кальцитом кимберлитовая магма, содержащая мегакристаллы и ксенолиты, быстро внедрялась по системе глубинных разломов...» [2].

Итак, есть доказательства, что карбонатом кальция обогащены и верхняя часть магматической колонны, и подводящие каналы, в которых застыли последние порции магматического расплава. В то же время флюидизатное происхождение кимберлитов предполагает выделение из магмы большого количества газа, создающего газовые струи.

Логично будет предположить, что и в течение всего времени образования диатремы по подводящим каналам поднимался обогащенный карбонатом кальция кимберлитовый (или карбонатитовый) расплав, карбонатная составляющая которого при выходе в диатрему частично превращалась в газ и оксид кальция.

В общем случае при кимберлитобразовании количество выделившегося углекислого газа, поддерживающего флюидизатный процесс, приблизительно должно соответствовать разности между средней концентрацией карбоната кальция в кимберлитах подводящих каналов и в продуктах выполнения диатрем.

Карбонат кальция в кимберлитовой или карбонатитовой магме, по нашим представлениям, может рассматриваться в качестве взрывчатки, которая выделяет газ при выводе ее на земную поверхность (сразу при падении давления) и дробит магму (или раскаленную породу) на мельчайшие брызги или обломки.

Источник карбонатного материала. Источником кимберлитовой магмы принято считать астеносферу – выделенный в верхней мантии по сейсмическим данным низкоскоростной слой. По Ч. Хьюджесу, это «... прерывистая оболочка вокруг Земли, с довольно четкой нижней границей на глубине 250 км и верхней границей: приблизительно на глубине 60 км под океанической корой и 100–200 км под континентальной ... Из наблюдений за затуханием скоростей волн сжатия, проходящих через низкоскоростной слой, следует, что последний содержит небольшие количества (около 1 %) интерстиционного расплава. Этот расплав ...должен быть обогащен магнием на глубине, и следовало бы ожидать, что он будет сильно насыщен несовместимыми элементами; расплав мог бы приближаться по составу к кимберлитовому. Возникновение глубоких разрывов в литосфере, возможно, нарушило этот слой в некоторых интервалах и вызвало, таким образом, спорадический выброс кимберлитов с потерей летучих компонентов, не связанный ни с границами плит, ни с мантийными потоками» [11].

Есть и другие точки зрения. Так, по Дж. Доусону [2], локальные очаги кимберлитовой магмы формируются в течение длительного геологическо-

го времени в результате плавления мантийного флогопит-карбонат-гранатового лерцолита.

Необходимым условием для подъема к поверхности кимберлитовой магмы является наличие масштабных, проявленных в течение короткого времени, тектонических нарушений раздвигового характера, представляющих собой зоны декомпрессии. Вязкость астеносферы на два-три порядка ниже, чем вязкость покрывающих и подстилающих ее слоев мантии, и пропитывающий ее кимберлитовый расплав, являющийся несмешивающейся жидкостью (о котором говорит Хьюдженс), способен мигрировать к участкам пониженного давления – к разлому, а затем к земной поверхности.

Гипотеза формирования диатрем. Возможен следующий сценарий развития кимберлитового вулканизма. Рассмотрим три гипотетические стадии формирования диатремы.

1. В результате крупных раздвиговых тектонических подвижек, пересекающих земную кору на всю ее мощность, создаются зоны декомпрессии, по которым к поверхности поднимается обогащенная карбонатом кальция магма. По пути она пропитывает некоторые объемы линейных тектонически ослабленных зон. Под подводным каналом корректнее было бы подразумевать всю систему трещин, заполненных кимберлитом.

2. При достижении магматической колонной близповерхностной зоны в верхней ее части формируется область газообразования. Помимо взрывного отделения растворенных в магме газов, при распаде карбоната кальция выделяются огромные объемы углекислого газа (до 610 м^3 газа из $1 \text{ м}^3 \text{ CaCO}_3$) и тонкая пыль оксида кальция (рис. 1, А). Выделяющиеся газы за-

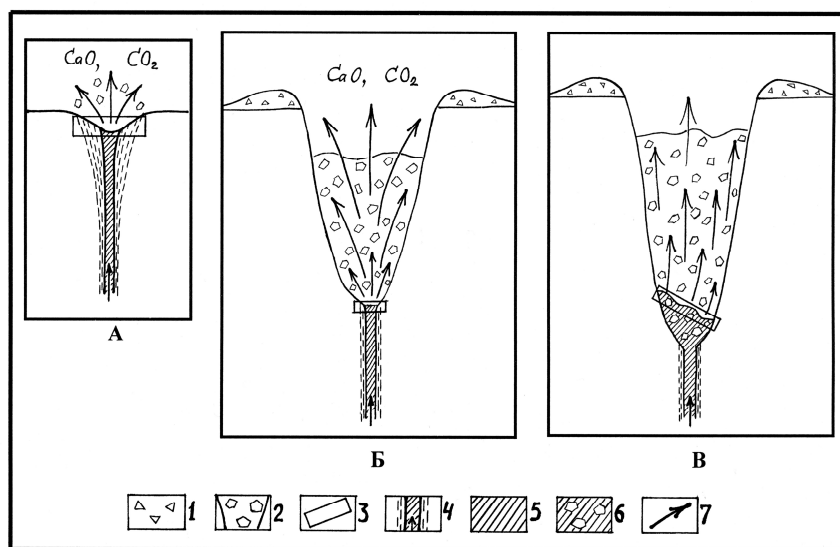


Рис. 1. Реконструкция стадий извержения кимберлитового вулкана:

А – начальная стадия; Б – стадия углубления диатремы; В – завершающая стадия;
 1 – отложения туфового кольца; 2 – область флюидизации: агломератовые обломки кимберлитов в газовых струях; 3 – схематический контур области газообразования; 4 – подводный канал и зона трещин, содержащих кимберлитовую магму; 5 – первичная кимберлитовая магма; 6 – кимберлитовая магма с обломками кимберлитов, утративших часть карбоната кальция; 7 – направление движения газов

пускают флюидизатный процесс, формирующий жерло кимберлитового вулкана – диатрему (см. рис. 1, Б). Трещинный канал расширяется и приобретает цилиндрическую форму. Разрушению вмещающих пород способствует насыщенность их тонкими прожилками карбонатного расплава. На наличие в боковых частях подводящих каналов трещин, выполненных кимберлитом, указывает В.С. Трофимов [8, с. 44].

Глубина диатремы по ходу извержения постепенно увеличивается: нижняя граница области флюидизации постоянно находится ниже нижней части диатремы. Диатрема заполняется лаво-пыле-газовой смесью, в которой обломки находятся в режиме постоянной ротации. Из обломков кимберлитов, утративших значительную часть магматогенного карбоната и остывших (ввиду эндотермического характера реакции) ниже 825 °С в дальнейшем образуется кимберлитовая брекчия.

Часть углекислого газа и оксида кальция выбрасывается в атмосферу, а часть – при участии грунтовых вод, атмосферных осадков и воды, выделившейся из магмы, – вступает в реакцию с образованием вторичного карбоната кальция.

Совершенно естественной представляется слабая степень термального метаморфизма экзоконтактов диатремы. Первая причина – постоянное смещение контактов диатремы по мере ее роста, вторая – эндотермический характер реакции диссоциации.

3. Процесс продолжается до того момента, когда давление в нижней части диатремы начнет препятствовать диссоциации карбоната кальция, или до прекращения притока магмы по подводящему каналу (именно этим объяснима различная глубина близрасположенных диатрем).

Не успевая распадаться в условиях повышенного давления, обогащенная карбонатом кальция магма заполняет нижнюю часть диатремы, цементируя определенный объем освободившихся от части карбоната кальция и частично остывших обломков кимберлитов. Охлаждаясь, она застывает и тем самым препятствует гидростатическому подъему магмы по подводящему каналу (рис. 1, В). Цементация обломков первичным, обогащенным карбонатом кальция, кимберлитом нередко наблюдается в нижних частях диатрем [5; 8, с. 17].

Процесс газообразования должен продолжаться до тех пор, пока температура последней порции магматического расплава не опустится ниже порога диссоциации карбоната. После этого флюидизатный процесс прекращается. Агломератовый материал, заполняющий большую часть диатремы, оседает.

Отложение в агломератовых туфах и кимберлитах вторичного кальция происходит при участии оксида кальция и двуокиси углерода, образующихся в нижней части диатремы.

Вышеописанную тенденцию углубления диатрем поддерживает В.А. Милашев, считая, что «...полости диатрем развиваются сверху вниз – от земной поверхности вглубь, постепенно превращая трещинный канал в трубообразный» [5]. Глубина диатрем не превышает 2,5 км – видимо, на этой глубине давление в нижней части диатремы начинает препятствовать распаду карбоната.

Принципиальное отличие диатрем, расположенных в *карбонатных* породах, от всех прочих состоит, по нашему мнению, в том, что при их формировании должно происходить повышенное выделение углекислого газа за счет термического разложения вмещающих известняков. Объем дополнительно выделившегося газа должен быть пропорционален объему сформированной диатремы.

Данная гипотеза позволяет объяснить и различие концентраций карбоната кальция в кимберлитах диатрем и подводных каналов, и отсутствие высокотемпературных изменений в экзоконтактах диатрем, и случаи резко отличающихся глубин близрасположенных диатрем.

Отсутствие в природе лав кимберлитов и кальциевых карбонатитов объяснимо именно термическим разложением входящего в их состав карбоната кальция, в результате чего эти расплавы в условиях земной поверхности флюидизируются и как таковые перестают существовать.

Важными моментами в предложенной схеме являются постоянный (не импульсный) приток магмы по относительно тонким трещинам в реакционное пространство, и сравнительно низкое, не более 100 атмосфер, давление. Мы считаем, что катастрофическое (взрывное) отделение газов при подъеме к поверхности даже перенасыщенной газами магмы не может приводить к росту давления в системе. При прорыве к поверхности газов или магмы, даже если этот процесс сопровождается разрушением выше лежащих пород, давление может только падать.

Автор прекрасно понимает, что предложенная модель идет вразрез с устоявшимися взглядами на процесс выделения газов из кимберлитовой магмы, но иного объяснения превышению концентраций карбоната кальция в подводных каналах над концентрациями в диатремах на сегодняшний день нет.

Список литературы

1. Голубева, И.И. Интрузивные пирокластиты севера Урала : (Туффзиты, эксплозив. брекчии, валун. дайки, псевдоконгломераты) / И.И. Голубева, Л.В. Махлаев ; отв. ред. Е.П. Калинин ; Рос. АН, Урал. отд-ние, Коми науч. центр, Ин-т геологии. – Сыктывкар : Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 1994. – 84 с.
2. Доусон, Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них / Дж. Доусон. – М. : Мир, 1983. – 300 с.
3. Лучицкий, В.И. Петрография : учеб. для георазвед. инст. / В.И. Лучицкий. – 6-е изд. – М.-Л. : Госгеолгиздат, 1947. – Т. 1. – 330 с.
4. Маршинцев, В.К. Вертикальная неоднородность кимберлитовых тел Якутии / В.К. Маршинцев. – Новосибирск : Наука, 1986.
5. Милашев, В.А. Трубки взрыва / В.А. Милашев. – Л. : Недра, 1984. – 268 с.
6. Петров, В.С. Генетическая связь алмазов с карбонатами кимберлитов / В.С. Петров // Вестник МГУ. Серия биологии, почвоведения, геологии, географии. – М., 1959.
7. Прокопчук, Б.И. Алмазные россыпи и методика их прогнозирования и поисков / Б.И. Прокопчук. – М. : Недра, 1979. – 248 с.

8. Трофимов, В.С. Геология месторождений природных алмазов / В.С. Трофимов. – М. : Недра, 1980. – 303 с.
9. Харьков, А.Д. Кимберлитовые жилы, сопряженные с трубками, как самостоятельная фаза кимберлитового магматизма / А.Д. Харьков // Докл. АН СССР. – 1975. – Т. 224, № 1.
10. Ходаков, Ю.В. Неорганическая химия : учеб. / Ю.В. Ходаков, Д.А. Эпштейн, П.А. Глориозов. – М. : Просвещение, 1977. – 180 с.
11. Хьюджес, Ч. Петрология изверженных пород / Ч. Хьюджес. – М. : Недра, 1988. – 320 с.
-

About the Source of Gases in Formation of Kimberlite Diatremes

V.A. Smirnov

Perm State University, Perm

Key words and phrases: diatreme; kimberlite; feeding channel; thermal dissociation of carbonate; fluidization.

Abstract: The new approach to the mechanism of kimberlite bodies formation is discussed. It is supposed that the basic mass of gases participating in the formation of diatremes consists of carbon dioxide emitted from ultra basic magma under thermal dissociation of calcium carbonate.

© В.А. Смирнов, 2008