

ВОЗРАСТ И МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ТРУБОК ЛОМОНОСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ, СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ

Иван Махоткин ¹, Джек Роби ², Стефан Курсзлаукис ³, Евгений Валуев ⁴, Николай Пылаев ⁵
¹ Де Бирс, Россия; ² Де Бирс, Южная Африка; ³ Де Бирс, Канада; ⁴ Севералмаз, Россия, ⁵ Кратон, Россия

ВВЕДЕНИЕ

В период 1998-2000 годов компании Де Бирс и Севералмаз провели совместную программу бурения на Ломоносовском месторождении алмазов. Это дало возможность проверить существовавшие ранее модели геологического строения трубок Архангельская, Карпинская-1 и Карпинская-2 (Гриб и др., 1987; Саблуков, 1987; Кротков и др., 2001). На основании полученных данных авторами была разработана новая модель образования этих трубок, учитывая тип эксплозивности вулканизма (Schmincke, 2004). Терминология, которую авторы использовали в данной работе, применялась исключительно в описательном значении. В результате, такие термины, как «диатрема» и «туффизитовый», рассматриваются в морфологическом и описательном, а не генетическом смысле.

ГЕОЛОГИЯ

Возраст формирования трубок Ломоносовского месторождения был определен по палеонтологическим данным как верхнедевонский, 370 млн. лет (Саблуков, 1987). Новые возрастные данные были получены в лаборатории Де Бирс (Fourie, пер. сообщ.) в результате изучения ⁴⁰Ar-³⁹Ar изотопов из келефитовых кайм пироба и из зёрен хромдиоксида. Эти данные совместно с опубликованными результатами Rb-Sr изохронных исследований (Первов и др., 2005) указывают на то, что становление отдельных трубок Ломоносовского месторождения происходило в различные временные интервалы в течении длительного периода времени. Становление трубки Пионерской произошло в конце среднего девона (380 +/-7 млн. лет), а становление кимберлитов трубки Карпинского-1

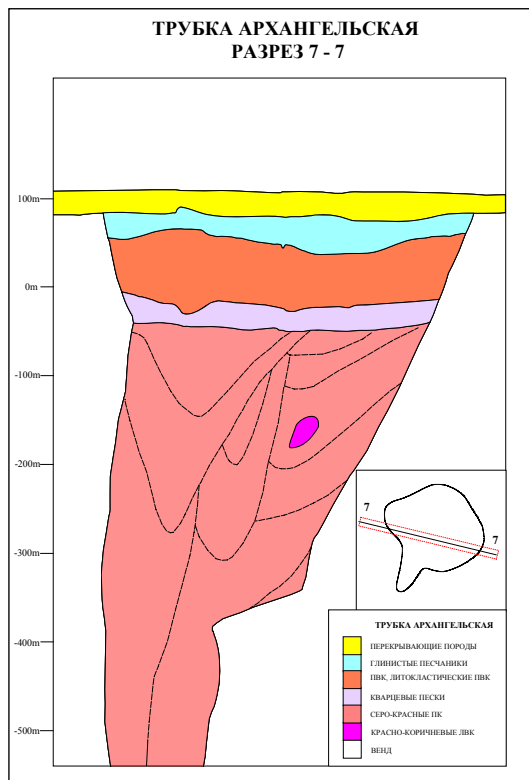


Рисунок 1: Трубка Архангельская

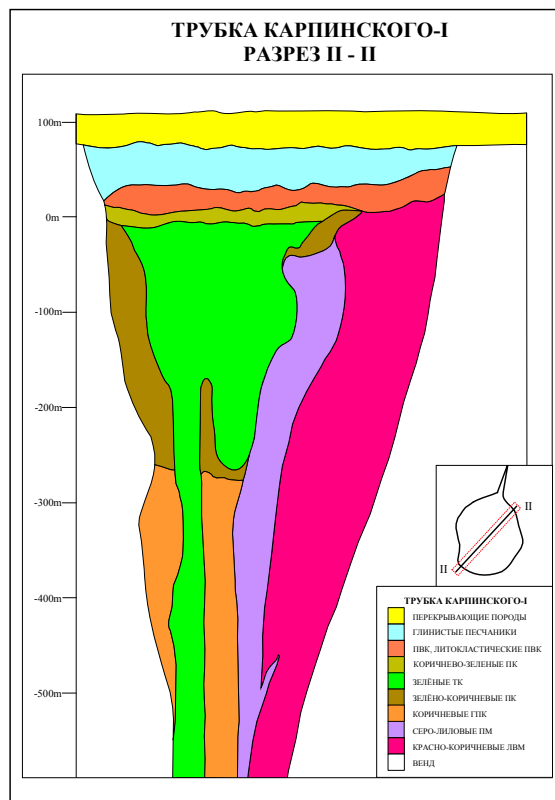


Рисунок 2: Трубка Карпинского-1

соответствует началу среднего карбона (323 +/-19 млн. лет).

Среднекарбонный возраст трубки Карпинского-1 в целом согласуется с наличием в её верхних частях мощных отложений постэруптивного кратера (Рисунок 2), перекрытого среднекарбонными песчаниками урзугской свиты (310-300 млн. лет). Степень эрозии для трубки Карпинского-1 по нашим расчетным данным была не более 75 м.

Морфология и внутреннее строение трубок Карпинского-1 и -2 также указывает на их многостадийное формирование. Если трубки Архангельская и Карпинского-1 представлены единичными морковко-подобными диатремами (Рисунок 1 и 2), то трубка Карпинского-2 состоит из нескольких морковко- и чаша-подобных диатрем, расположенных вдоль одного субмеридионального разлома (Рисунок 3). Структура множественных диатрем трубки Карпинского-2 предполагает миграцию эруптивного центра вдоль одного из разломов во время формирования этой трубки.

Внутреннее строение трубок существенно различается между собой. Сравнение магмакластов из этих трубок указывает, на то что формирование трубок Архангельская и Карпинского-2 произошло при участии только одного типа магмы - кимберлитовой. В противоположность этому, формированию трубки Карпинского-1 происходило при участии магмы двух типов: магмы слабо алмазосных мелноитов (или богатых мелилитом кимберлитов), проникающей к поверхности земной коры на первой стадии формирования трубки, и магмы высоко алмазосных кимберлитов, появляющейся на второй заключительной стадии её формирования.

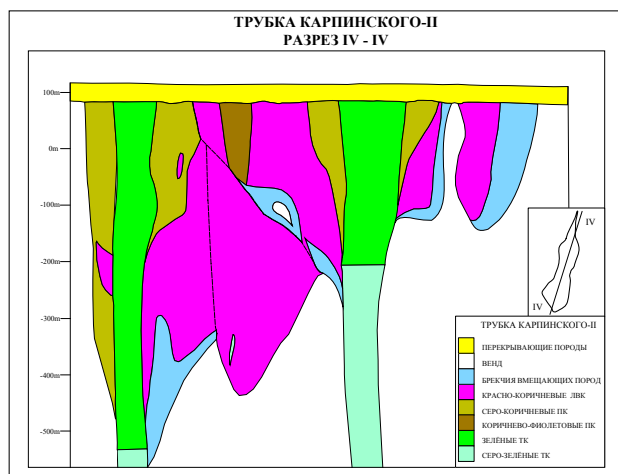


Рисунок 3: Трубка Карпинского-2

МААР-КРАТЕР, ШЛАКОВЫЕ КОНУСА И ПОРОДЫ ВЕРХЕЙ ЧАСТИ ДИАТРЕМЫ

Горизонтально слоистые толщи выполняют верхнюю часть диатрем в трубках Архангельская и Карпинского-1 и они представлены красно-коричневыми обогащенными и очень обогащенными литокластическим материалом фрагментированными кимберлитами и терригенными осадками с небольшим содержанием вулканогенного материала. Мощность подобных толщ варьирует от 120 до 160 м. Эти толщи сформировались в результате эрозии окружающего кратера тефрового кольца, предэруптивной палео-поверхности и стенок маар-кратера. Первоначальный уровень дна кратеров понизился в результате уплотнения подстилающего материала диатрем. Богатые и очень богатые литокластическим материалом фрагментированные кимберлиты слагающие эти толщи интерпретируются как переотложенные вулканокластические кимберлиты (ПВК) и литокластические ПВК, соответственно. В основании эпикластической толщи в трубке Архангельской отмечено появление мощного (20 м) слоя красных кварцевых песков и блоков глауконитовых песчаников (Рисунок 1). Эти осадки интерпретируются как частично переработанные грязевые потоки, которые зарождались на кратерных стенках, состоящих из слабоконсолидированных вендских глауконитовых кварцевых песчаников. Присутствие подобных богатых кварцем терригенных осадков на дне кратера доказывает, что моментально вслед за завершением первичной вулканической активности это дно было расположено ниже предэруптивной поверхности и следовательно кратер представлял собой широкий маар.

Отсутствие богатых кварцем терригенных осадков в основании эпикластической толщи в трубке Карпинского-1, постепенный переход эпикластических осадков в коричнево-зелёные пирокластические кимберлиты (ПК) с низким содержанием ксенолитов вмещающих пород (КВП), а также слегка положительный формы по отношению к соседним ранее сформированным лито-вулканокластическим мелноитам предполагает, что кимберлитовый вулкан на заключительной стадии своей первичной активности был подобен шлаковому конусу (Рисунок 2). Дно кратера этого вулкана было расположено выше предэруптивной поверхности. Уплотнение материала заполняющего диатрему привело в последствии к формированию постэруптивной кальдеры проседания. По мере того, как проседание усиливалось и окружающее

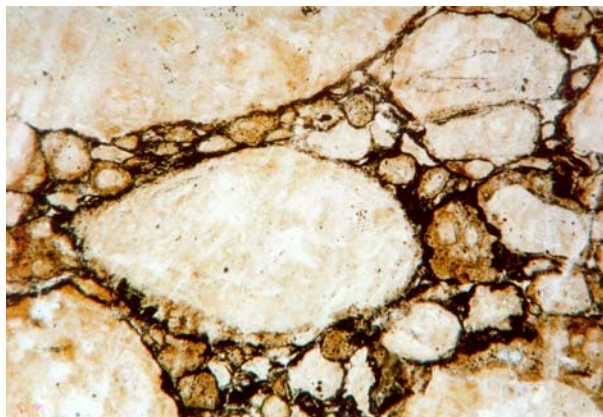
тефровое кольцо было эродировано, богатые глиной вулканокластические пески заполнили верхнюю часть кальдерной депрессии.

Отсутствие эпикластической толщи в верхней части трубки Карпинского-2 указывает либо на то, что это более ранняя трубка и эпикластические осадки были уже эродированы на момент образования трубок Архангельская и Карпинского-1 или на то, что не было условий для заключительного интенсивного внутрикратерного проседания пород в нижерасположенной диатреме (Рисунок 3).

ЗАПОЛНЕНИЕ ДИАТРЕМ

Диатрема трубки Архангельская выполнена поровыми серо-красными фрагментированными кимберлитами. Эти породы рассматриваются в качестве пирокластических кимберлитов (ПК). Ритмичное переслаивание различающихся по цвету и структуре пород заметно выражено по всей верхней и средней части диатремы (Рисунок 1). Мощность каждой серии пород варьирует от 20 м. на верхних горизонтах до 100 м. на глубине.

Рисунок 4: Зелено-коричневые пирокластические ким-



берлиты из трубки Карпинского-1 (образец LD7/149, Размер Поля Зрения (РПЗ)- 3 мм)

Характер первичной слоистости этих породных серий, по-видимому, искажён почти по всей части диатремы и крутопадающее залегание преобладает. Это вероятно связано с локальным проседанием к центральным частям трубки отложений вулканической тефры и повторяющихся в течении жизни вулкана извержений. Красный цвет кимберлитов преобладает в верхних частях каждой породной серии и вызвано увеличением количества плотной упаковки магмакластов покрытых красной окисленной плёнкой (5-30 μm по толщине). Эти пачки пород не проявляют какой-либо внутренней градиционной сортировки обломков, но количество

материала матрикса возрастает к основанию каждой серии. Мы расцениваем эти серии в качестве отложений первичного выпадения тефры, чей верхний слой был достаточно горяч после отложения, что бы поддерживать процессы окисления магмакластов, когда они контактировали на поверхности с воздушной средой. Таким образом, верхняя и средняя часть диатремы полностью состоит из серий нескольких пересекающихся пирокластических толщ. Наличие пузырьков, которые были обнаружены в межобломочном матриксе и в стекло-ватых магмакластах на глубине -380 м ниже уровня моря (нум) подтверждает вулканическую природу серо-красных фрагментированных кимберлитов. Вниз по разрезу вплоть до глубины -670 м нум магмакласты матрикса (размер которых определен как $< 0.5 \mu\text{m}$) остаются очень мелкозернистыми, обычно их размер варьирует между 50-250 μm и они имеют сферическую форму. Редкие ещё более мелкие магмакласты размером 5-15 μm имеют осколочно подобные формы и они возможно представляют интерактивные частицы подобные тем, что образовывались в экспериментах с термогидравлическими взрывами (Büttner et al., 1999).

Особенности строения и текстур магмакластов матрикса в зелёно-коричневых фрагментированных кимберлитах из второй фазы внедрения трубки Карпинского-1 (Рисунок 4) и в серо-лиловых кластических мелноитов из первой фазы внедрения схожи с тем, что мы наблюдали в серо-красных пирокластических кимберлитах трубки Архангельской. Вместе с тем, эти магмакласты более крупные по размеру, составляя 150-350 μm . Подобные пепловые зёрна встречаются также в серо-коричневых и коричнево-фиолетовых фрагментированных кимберлитах, которые слагают верхнюю и среднюю часть диатрем в трубке Карпинского-2, что позволяет рассматривать их в качестве пирокластических пород также. Клинопироксен в матриксе брекчий встречается только серо-лиловых фрагментированных мелноитах трубки Карпинского-1.

Коричневые фрагментированные кимберлиты встречаются внутри крутопадающих вертикальных колон в нижней части диатремы второй фазы внедрения трубки Карпинского-1 ниже -270 м нум. Эти породы являются гомогенными и признаков слоистости в мелком масштабе в них не обнаружено. Межкластический матрикс этих пород состоит из лейст флогопита, интерстициального серпентина, призмочек апатита и гидрограната. На

более высоких горизонтах коричневые фрагментированные кимберлиты содержат некоторое количество обломков ювенильных пирокластов слегка неправильной формы (Рисунок 5). Эти породы могут быть интерпретированы в качестве гомогенизированных, метасоматически сильно измененных пирокластических кимберлитов (ГПК). Они вероятно представляют собой заполнение той части вулканического жерла, которое непосредственно формировалось вблизи корневой зоны второй фазы внедрения трубки Карпинского-1.

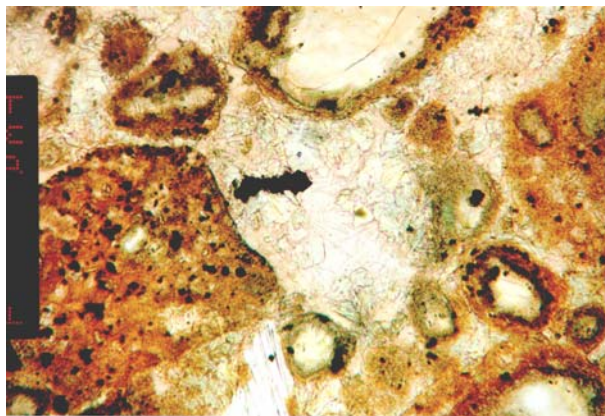


Рисунок 5: Коричневые фрагментированные кимберлиты из трубки Карпинского-1. Тонкозернистый магмакласт слегка неправильной угловатой формы частично окружён непрозрачной железистой плёнкой, что предполагает окисление на контакте с воздухом при образовании этого магмакласта. Для этой породы предполагается пирокластическая природа. (Образец LD7/400, РПЗ- 3 мм).

Зелёные фрагментированные кимберлиты, которые подобны типичным туффзитовым кимберлитовым брекчиям диатремовой фации (Clement and Skinner, 1985), образуют большое центральное тело, расширяющееся в верхней части диатремы второй фазы трубки Карпинского-1, и слагают две узких колонны в трубке Карпинского-2 (Рисунок 2 и 3). Магмакласты матрикса зелёных фрагментированных кимберлитов обычно имеют размер 150-350 μm , что близко к таковому в рядом расположенных телах зелёно-коричневых и серо-коричневых пирокластических кимберлитах. Главная особенность зелёных фрагментированных кимберлитов включает преимущественно базальную структуру породы, относительно гомогенную текстуру, высокую степень изменения магмакластов матрикса в результате гидротермальной перекристаллизации, и обилие больших, сферических многозональных магмакластов (автолитов в российской терминологии). Последние окружают большие

макрокристы оливина или угловатые ядра, представленные обломками кимберлитов с однородной или сегрегационной текстурой. Зелёные фрагментированные кимберлиты классифицируются авторами как туффзитовые кимберлиты (ТК). Эти зелёные ТК могут быть рассмотрены как породы образованные либо во время флюидизации коричневых ГПК и последующего за этим внедрения этого высоко гомогенизированного материала на более высокие горизонты диатремы или как заполнение вулканического жерла после термогидравлического взрыва. Во втором варианте, заполняющий материал транспортируется из корневой зоны трубки на поверхность. ТК и ПК рассматриваются в российской терминологии в качестве одного типа пород, «автолитовой брекчии» (Гриб и др. 1987; Кротков и др. 2001).

Красно-коричневые литокластические фрагментированные кимберлиты и литокластические фрагментированные мелноиты («ксенотуфобрекчия» в российской терминологии) слагают большие тела примыкающие к вмещающим породам трубок Карпинского-1 и -2 и также встречается в виде больших случайных блоках в серо-красных пирокластическом кимберлите трубки Архангельская. Эти породы классифицируются как литовулканокластические кимберлиты (ЛВК) и литовулканокластические мелноиты (ЛВМ), и они характеризуются интенсивным перемешиванием ксенолитов вмещающих пород (вендских осадков) и ювенильного вулканического материала, грубой слоистостью (мощностью ~15-30 м. особенно в верхней части толщи), аккреционными лапиллями (пизолитами), остатками обугленных верхнедевонских деревьев (вплоть до глубины -500 мм нум) и блоками, образовавшихся из оползней вмещающих пород. Тонкозернистый вулканический материал полностью превращен в сапонит. Резкое преобладание сапонита вероятно является результатом экстремально малого размера частиц пеплового материала (2-7 μm), которые имеют очень высокую чувствительность к изменению в условиях присутствия воды. ЛВК и ЛВМ содержат большое количество отдельных зёрен ксеногенного кварца, который обычно в 2-4 раза крупнее размера ксеногенного кварца из ксенолитов пород Венда. Крупные зёрна кварца встречаются в целом по всей толщ в ЛВМ и ЛВК и они вероятно происходят из слабоконсолидированных кварцевых песчаников, которые присутствуют только на верхних этажах вендского чехла. Огромные (до 15 м) блоки вендских вмещающих пород внутри ЛВМ и ЛВК вероятно являются оползневными структурами,

погружающиеся по направлению к двум вертикальным колоннам зелёных туффзитовых кимберлитов (Рисунок 3). ЛВМ и ЛВК рассматриваются в качестве первичных пирокластических и перетолженных пород первоначально залегавших на дне маар-кратера и в дальнейшем переместившихся на более глубокие горизонты диатремы в результате внутрикратерного проседания.

На контакте ЛВМ и ЛВК с вмещающими породами обычно присутствует зона интенсивно брекчированных вмещающих пород. Такая зона хорошо сохранилась в северной килеподобной части трубки Карпинского-2 (Рисунок 6). Здесь, ЛВК представлены узкой вертикальной полосой окружённой широкой зоной бескимберлитовой брекчии вмещающих пород, которая может представлять собой контактовую брекчию (Clement, 1982). Подобная зона на глубине -300 м. нум в трубке Архангельской сопровождается метасоматическим обогащением Re, Mo, Rh, что может быть связано с существованием высоко-температурного флюидного галло в вмещающих породах на уровне нижней части диатремы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многие черты строения ЛВК и ЛВМ в трубках Карпинского-1 и -2 могут быть объяснены фреатомагматическим извержением высокой мощности. Во время всего периода формирования ЛВМ и ЛВК, кратер представлял собой маар в пределах которого вмещающие породы обнажались в кратерных стенках откуда на дно кратера поступал грубозернистый кварцевый материал. Формирование лито-вулканокластических пород сопровождалось внутрикратерным проседанием подстилающей вулканокластической толщи.

Первичные извержения происходили близко к земной поверхности и дальнейший рост диатрем на глубину сопровождался ремобилизацией материала из зоны брекчий вмещающих пород (Рисунок 7).

Формирование серо-красных и коричнево-зелёных пирокластических кимберлитов в трубках Архангельская и Карпинского-1 связано с менее мощными термо-гидравлическими взрывами. Вулканический аппарат на этом этапе был схож со шлаковым конусом, в котором дно кратера было расположено выше уровня предэруптивной поверхности. Это ограничивало приток ксеногенного кварца в отложения тефры серо-красных и коричнево-зелёных кимберлитов из верхних горизонтов вендской толщи.

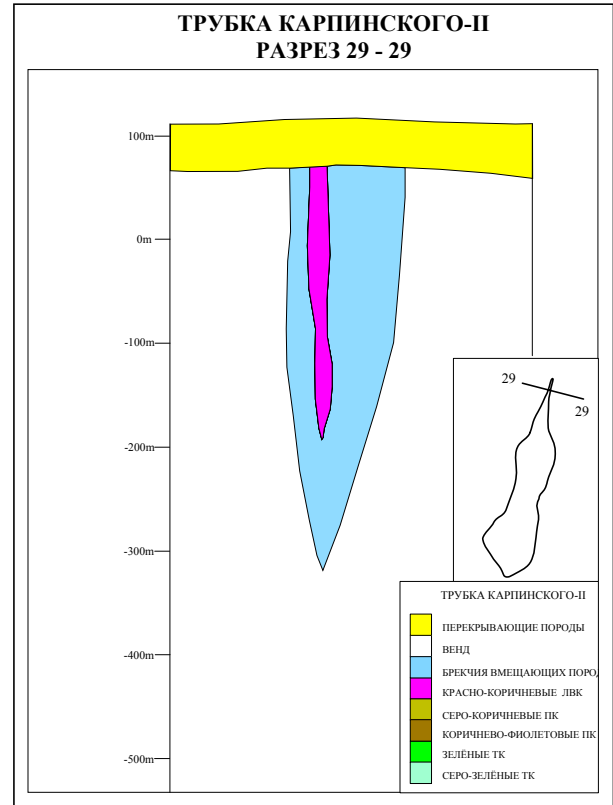


Рисунок 6: Трубка Карпинского-2.

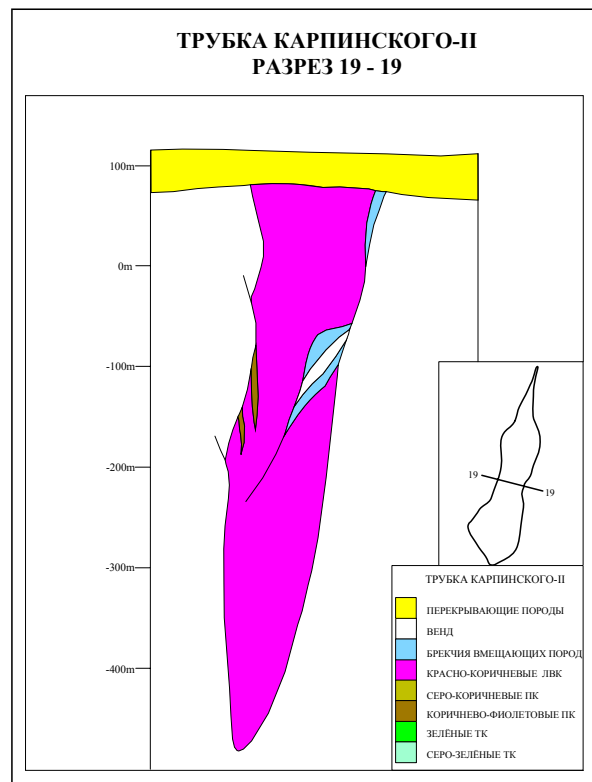


Рисунок 7: Трубка Карпинского-2

Стадия затухание вулканической активности в трубке Архангельской завершилась мощным извержением, что привело к формированию маар кратера. Другой отличный стиль затухания вулканической активности можно наблюдать в трубке Карпинского-1, в которой мощность вулканических взрывов постепенно снижалась, и это сопровождалось образованием тела зеленых туффзитовых кимберлитов (Рисунок 2).

Не смотря на то, что становление трубок Ломоносовского месторождения в одинаковой геологической ситуации вблизи друг от друга, эти трубки существенно различаются между собой по своему внутреннему строению и по текстурно-структурным типам кимберлитов. Эти различия и многие другие особенности строения трубок не могут быть адекватно объяснены в рамках модели флюидизации, рассмотренной в работах (Клемент, Скиннер, 1985; Филд и Скот-Смит, 1999). Эта модель флюидизации также не может быть применена из-за отсутствия прочных перекрывающих пород (ловушек) в вендском чехле, присутствие которых необходимо для создания сверхдавления и флюидизации кимберлитового расплава. Вместе с тем, наличие шести интенсивных водоносных горизонтов в вендских отложениях и присутствие зоны разломов создаёт благоприятные условия для фреатомагматических взрывов.

Таким образом, формирование трубок Ломоносовского месторождения произошло в результате множественных разновозрастных инъекций кимберлитовой и мелкоитовой магмы в водонасыщенные, слабоконсолидированные вмещающие терригенные породы вендского возраста. Предложенная модель становления кимберлитовых тел Ломоносовского месторождения согласуется с фреатомагматической моделью (Lorenz, 1985). Различия в строении трубок Ломоносовского месторождения, являются результатом изменения стиля фреатомагматических взрывов, интенсивность которых зависит от изменения соотношения количества воды, которая реагирует с кимберлитовой магмой (Wohletz, 1983). Изменение этого отношения может быть вызвано с первичной неоднородностью водоносных горизонтов или взаимодействием нескольких близкорасположенных гидрологических воронок формирующихся в водоносных горизонтах вокруг трубок взрыва во время их фреатомагматической активности.

ССЫЛКИ

- Büttner, R., Dellino, P., Zimanowski, B. 1999. Identifying magma-water interaction from the surface textures of ash particles. *Nature*, 401, 688-690.
- Clement, C.R. 1982. A comparative study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State. Ph.D. Thesis, Univ. Cape, South Africa.
- Clement, C.R., Skinner, E.W. 1985. A textural-genetic classification of kimberlites. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.* 88, 403-409.
- Гриб, В.П., Скрипниченко, В.А., Шукин, В.С. 1987. Щелочно-ультраосновной магматизм севера Русской платформы. В: Геология и рудные месторождения Севера Русской платформы. Москва: Труды Геолфонда, стр. 66-74.
- Field, M., Scott Smith, B.H. 1999. Contrasting geology and Near-Surface Emplacement of kimberlite pipes in the Southern Africa and Canada; Proceedings of the Seventh Int. Kimberlite Conf. Cape Town, pp. 214-237.
- Кротков В.В. и др. 2001. Новые технологии разведки алмазных месторождений. ГЕОС, Москва.
- Lorenz, V 1985. Maars and diatremes of phreatomagmatic origin: a review. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.* 88, 459-470.
- Саблуков, С.М. 1987. Некоторые особенности внутреннего строения кимберлитовых трубок. Москва: Труды ЦНИГРИ, 218, стр. 37-41.
- Wohletz, K.H. 1983. Mechanisms of hydrovolcanic pyroclast formation: Grain size, scanning electron microscopy, and experimental results. *J. Volcanol. Geotherm Res.*, 17, 31-63.
- Первов В.А., Богомолов Е.С., Ларченко В.А., и др. Rb-Sr-возраст кимберлитов трубки Пионерская (Архангельская алмазоносная провинция). – ДАН, 2005, т. 400, № 1, с. 88-92.
- Schmincke, H.U., 2004. *Volcanism*. Springer, Berlin, New York. 324 p.