

А.Б. Макеев¹, В. Иванух³, С.К. Обыден², П.В. Иванников², Н.И. Брянчанинова¹

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар, Makeev@geo.komisc.ru

²Московский государственный университет, г.Москва, obyden@ccl.msu.su

³Instituto de Quimica, Universidade de Sao Paulo, Brasil, wold@uol.com.br

ВЗАИМООТНОШЕНИЕ АЛМАЗА И КАРБОНАДО (КАТОДОЛЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И ИЗОТОПИЯ)

Обсуждаются результаты исследования представительной коллекции бразильских карбонадо, а также карбонадо и алмазов проявления Ичетью (Средний Тиман). Описана цветная катодоллюминесценция (ССЛ) карбонадо двух типов. Изучена уникальная находка – обрастание относительно крупного плоскогранного октаэдрического кристалла алмаза микрозернистым агрегатом алмаза (карбонадо). Изотопный состав углерода данной коллекции карбонадо изменяется от -14 до -21 $\delta^{13}\text{C}$ ‰. Генезис карбонадо и алмаза тесно связан, вероятнее всего, они кристаллизуются совместно, так как их агрегаты известны в сростаниях. Скорее всего, карбонадо образуется в кимберлитовом процессе при транспортировке алмазов из мантии в земную кору.

Введение

Существует мнение, что карбонадо распространены только в южном полушарии и встречаются в россыпных проявлениях Южной Америки, Южной Африки и Австралии. Некоторые исследователи считают, что карбонадо образовались в результате катастрофического импактного события, произошедшего много сотен миллионов лет назад на древнем континенте Гондвана, распавшегося затем на три южных континента. Полученные нами экспериментальные данные опровергают эту версию. В частности, наше утверждение основано на фактах обнаружения карбонадо вместе с алмазами в кимберлитовых трубках и в россыпях в северном полушарии. Нами описана и задокументирована (приводятся электронно-микроскопические изображения, а в настоящей работе изотопные данные) достоверная находка черного кусочка карбонадо, размером 3×4 мм и весом 74 мг в проявлении алмазов Ичетью на Среднем Тимане (Алмазы..., 1999; Макеев и др., 2002). На поверхности этого образца карбонадо были обнаружены примазки TiO_2 (рутила?), ильменита и амфибола (тремолита). Минералогические особенности карбонадо из Восточно-Сибирских кимберлитовых трубок описаны А.И. Горшковым с соавторами (1995; 1996). Таким образом, находки образцов карбонадо на Северо-Востоке европейской части России в проявлении алмазов Ичетью и в кимберлитовых трубках Якутии опровергают утверждения, согласно которым карбонадо - это исключительно эндемики южного полушария.

Объектом настоящего исследования стала коллекция из четырнадцати образцов, в числе которых десять зерен бразильских карбонадо штатов Баия (район г. Андораи) и Минас Жерайс (р. Макаубас), а также одного образца среднетиманского карбонадо и трех кристаллов алмаза из проявления Ичетью (Алмазы..., 1999; Макеев и др., 2002; Макеев, Дудар, 2001). Исследования с помощью электронного микроскопа JSM-6400 с энергодисперсионной приставкой Link ISIS-300 позволили установить наличие фрагментов металлических пленок как на поверхности карбонадо (11 видов) - Au, Au-Ag, Sn, Bi, Pb-Cr, Fe, Ni, W, Fe₇Cr, Fe-Ni-Cr, Fe-Sn, так и внутри в виде включений (12 видов) - Au, Ag, Fe, Ti, Ni, Fe-Ni, Fe-Cr, Fe-Ni-Cr, Ni(Fe,Co), Ni-Cr, Sn-Cu, W(Fe,Cr,V). Часть составов металлических пленок повторяется, всего в сумме найдено 18 видов металлов, интерметаллидов и природных сплавов (Макеев и др., 2002).

Цветная катодоллюминесценция карбонадо

Изучена цветная катодоллюминесценция (ССЛ) этих образцов карбонадо. В коллекции присутствуют образцы карбонадо с катодоллюминесценцией двух типов. Первый тип свечения, который вскрывает красочную зональную картину ССЛ, мы наблюдали на сколе одного крупного зерна карбонадо из штата Баия (образец К-3), где цвет зон меняется от центра к поверхности зерна в такой последовательности: синий в центре – красный – зеленый – желто-зеленый (Рис. 1). Этот же тип зонального свечения в виде вкрапленных синих пятен (свечение зерен алмаза, размером 0.1–0.3 мм) на зеленом поле (свечение карбонадо) позже был встречен на поверхности другого образца бразильского карбонадо (Рис. 2).

Вторым типом свечения ССЛ с незональным, а пятнистым (черно-оранжевым) рисунком характеризуются все остальные образцы (обр. К-2, Рис. 3). Природные алмазы, как правило, катодоллюминесцируют синим цветом (Рис. 4). Доказательством совместного нахождения алмаза и карбонадо является также суперпозиция спектров рентгенолюминесценции алмазов и карбонадо в одном образце (Рис. 4).

Обнаружено уникальное явление – обрастание относительно крупного трехмиллиметрового плоскогранного октаэдрического кристалла алмаза (Рис. 5) микрозернистым агрегатом алмаза (карбонадо). Эта находка является убедительным доказательством близкого генезиса карбонадо и алмаза. На сколе описанного выше карбонадо с зональной цвет-

№ обр.	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\chi \pm \sigma$	Фаза	Местонахождение
К-1	-18.68		Карбонадо	Бразилия,
К-2	-20.59	-18.02	« -	штат Минас Жерайс
К-4	-19.85	± 2.24	- « -	- « -
К-5	-16.48		- « -	- « -
К-6	-14.50		- « -	- « -
К-3	-13.85		Карбонадо	Бразилия,
К-7	-21.34	-19.01	- « -	штат Баия
К-8	-18.68	± 3.09	- « -	- « -
К-9	-19.85		- « -	- « -
К-10	-21.32		- « -	- « -
О-1	-20.25		Карбонадо	Проявление Ичетью,
129	-16.31	-15.24	Алмаз	Средний Тиман, Россия
137	-13.62	± 1.43	- « -	- « -
152	-15.79		- « -	- « -

Табл. Изотопный состав углерода карбонадо из бразильских штатов Минас Жерайс и Баия, Бразилия, а также карбонадо и алмаза проявления Ичетью, Средний Тиман, Россия.

ной катодоллюминесценцией обнажилась грань октаэдра алмаза, которая была покрыта тонкой 0.3 мкм, почти сплошной пленкой оксида титана (рутила). Пленка (бывшая металлическая титановая, а затем окислившаяся рутиловая пленка) была захоронена нарастающим на нее карбонадо и поэтому хорошо сохранилась – это еще одно доказательство роста алмазов через металлические мембраны (Макеев, Дудар, 2001; Makeyev and Bryanchaninova, 2001). Эту же гипотезу подтверждают мелкие включения самородных металлов, сохранившиеся в микрокристаллическом алмазном агрегате бразильских образцов карбонадо (Макеев и др., 2002).

Изотопия углерода карбонадо и алмаза

Изотопия углерода – важный источник генетической информации. Существует обширный список публикаций, где обсуждаются изотопные взаимоотношения углеродистых веществ (Архангельская..., 1999; Галимов и др., 1985; De et al., 2001 и др.), в которых суммированы статистические сведения об изотопии $\delta^{13}\text{C}$ алмаза и карбонадо. Для нас важны сведения о том, что алмазы, образовавшиеся в ультраосновном мантийном субстрате, обладают наиболее легким изотопным составом и узкими вариациями, близким к $-5 \delta^{13}\text{C} \text{‰}$ (Рис. 6). Алмазы из мантийного эклогитового парагенезиса имеют несколько более тяжелый изотопный состав и более широкие вариации состава с двумя модами, приближающийся к -6 и $-13 \delta^{13}\text{C} \text{‰}$; карбонадо обладают еще более тяжелым изотопным составом в интервале от -20 до $-30 \delta^{13}\text{C} \text{‰}$, с максимумом около -27‰ .

Нами изучен изотопный состав углерода образцов бразильских карбонадо. Анализы проведены Л.П. Носиком на масспектрометре МИ-2300 в ИГЕМ РАН по стандартной методике окисления алмазов и перевода углерода в газообразный диоксид (CO_2) с помощью оксида меди. Результаты приведены в табл. и Рис. 6. Значения изотопного состава углерода данной коллекции карбонадо не укладываются в интервал вариаций $\delta^{13}\text{C} \text{‰}$, обычных для бразильских карбонадо (De et al., 2001), причем образцы из штата Минас Жерайс имеют несколько облегченный изотопный состав, чем карбонадо из россыпей штата Баия. При этом, изотопные составы образцов карбонадо К-6 и К-3 отличаются от других на 4-7 единиц $\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ в сторону более легкого состава, приближающегося к составу углерода алмазов из эклогитов.

И действительно, как описано выше, с помощью цветной катодоллюминесценции в ядерной части сколотого образца К-3 (из коллекции карбонадо штата Баия) был обнаружен трехмиллиметровый кристалл алмаза, обросший микрозернистым агрегатом алмаза (карбонадо) и люминесци-

Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение (а) и цветная катодоллюминесценция (б-м) сростков мелких зерен алмаза и карбонадо первого типа.

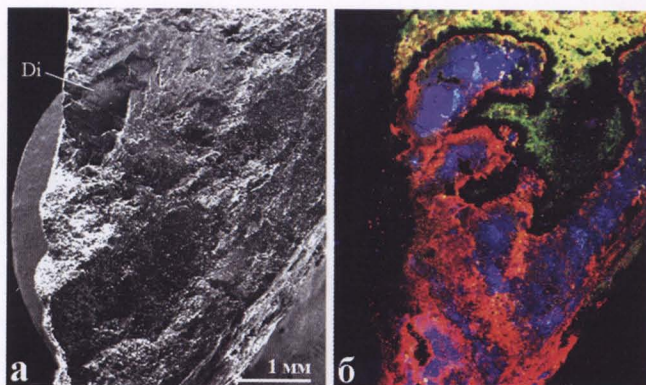


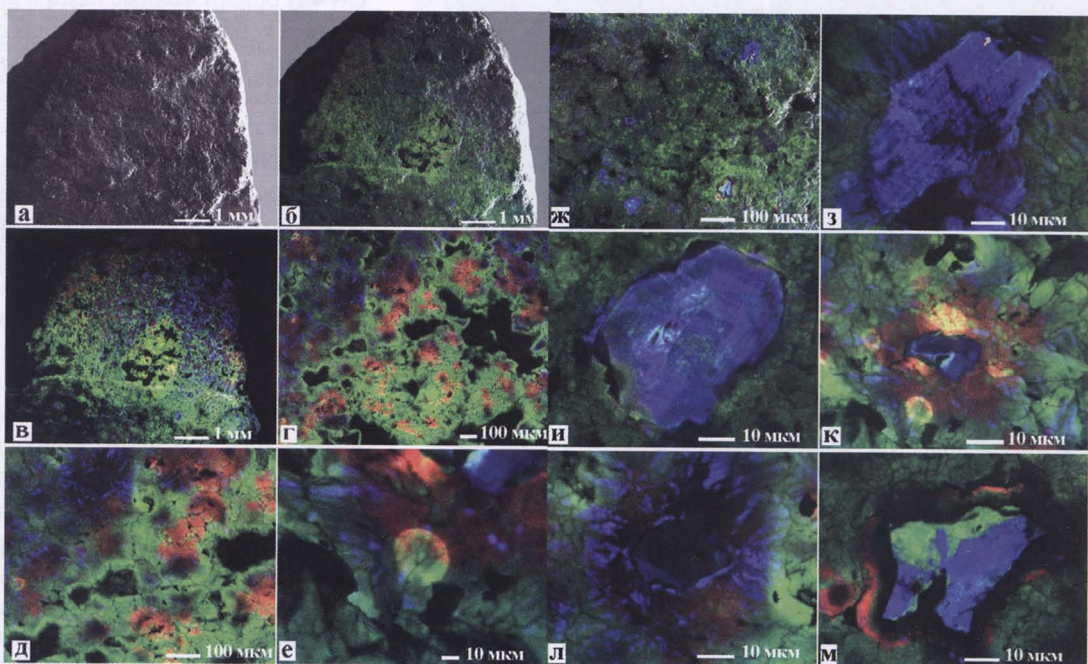
Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение (а) и цветная зональная катодоллюминесценция (б-е) сростка октаэдрического кристалла алмаза и карбонадо 1-го типа (обр.К-3).

рующий ярко-синим цветом (свечение азотного центра N_3). Видимо, на результаты изотопного анализа этого образца сильно повлияло смешение легкого углерода алмаза и тяжелого углерода карбонадо.

Нами впервые на небольшой серии образцов определен изотопный состав углерода алмаза и карбонадо проявления Ичетью (Средний Тиман). Изотопный состав углерода зерна ичетьюского карбонадо очень близок к таковому бразильских карбонадо (табл., Рис. 6), его показатель $-20.25 \delta^{13}\text{C} \text{‰}$ находится примерно в середине выборки значений для всех карбонадо (De et al., 2001). Изотопный состав углерода алмаза пр. Ичетью оказался несколько более легким: интервал значений изменяется от -13.62 до -16.31 , при среднем $-15.24 \pm 1.43 \delta^{13}\text{C} \text{‰}$. Теперь эти данные можно сравнивать с изотопным составом углерода алмазов архангельской алмазоносной провинции (Архангельская..., 1999).

Обсуждение результатов и выводы

Полученные сведения об изотопном составе углерода приводят к важному выводу, что среднетиманские алмазы проявления Ичетью, вероятнее всего, сформировались в эклогитовом мантийном субстрате. Этот вывод хорошо согласуется с данными по изучению примазок и включений минералов-индикаторов в среднетиманских кристаллах алмаза (Алмазы..., 1999; Макеев, Дудар, 2001; Макеев, Филиппов, 1999). Ранее нами в среднетиманских алмазах



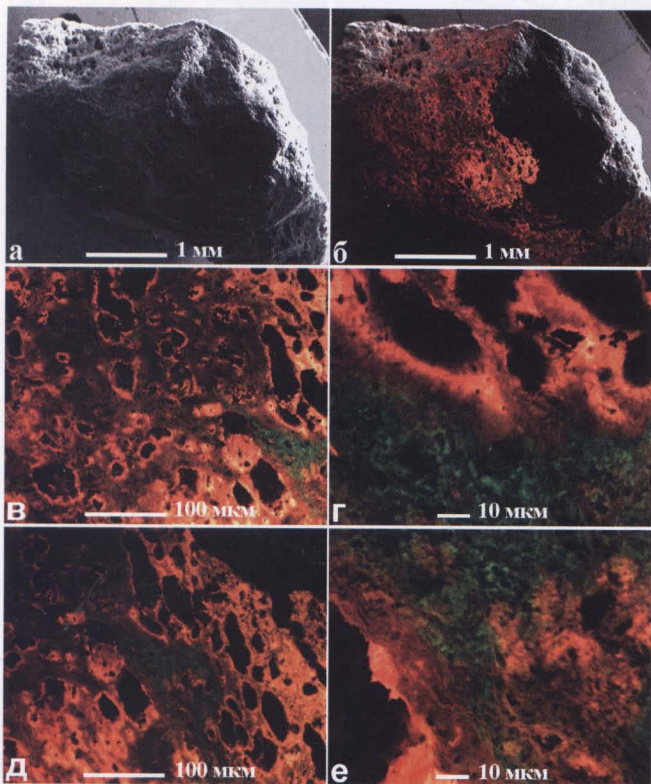


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение (а) и цветная катодоллюминесценция (б-е) карбонадо 2-го типа (обр.К-2).

были обнаружены включения SiO_2 (коэзита?), граната (пироп-альмандин), ильменита, а на гранях кристаллов примазки флоренсита, пленки самородных металлов 29 видов и некоторых других минералов. Минералы-индикаторы также свидетельствуют о кристаллизации ичетьюских алмазов в эклогитовом мантийном субстрате. Обломки ман-

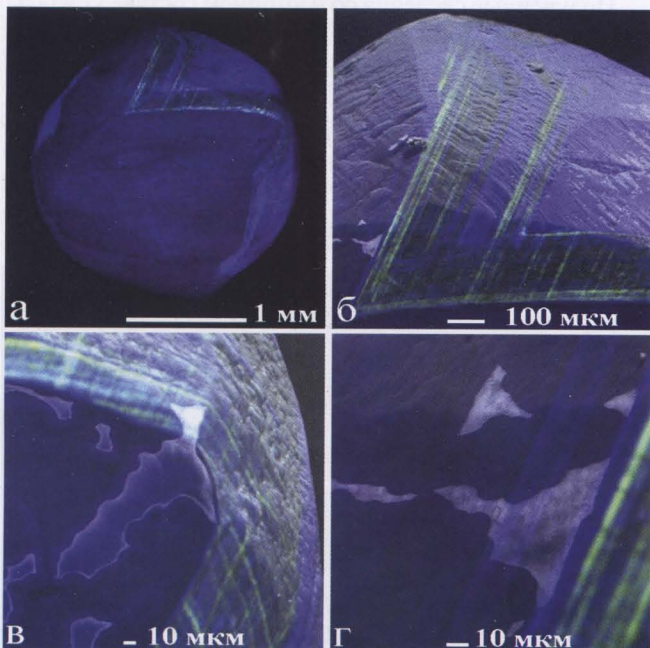


Рис. 7. Электронно-микроскопическое изображение катодоллюминесценции (CCL) и поверхности кристалла алмаза № 43 во вторичных электронах (SE), участок Золотой Камень месторождения Ичетью, Средний Тиман. а – CCL, б-г – комбинарованное изображение (CCL+SE). Светлые пятна на изображениях (б - г) – остатки тонкой металлической пленки интерметаллида Au_2Pd_3 . Желто-зеленые полосы в виде латинской буквы "V" (а - г) – проявившиеся мантийные дислокации, декорированные азотными центрами N_3+N_4 .



Рис. 4. Спектры рентгенолюминесценции сростка кристалла алмаза и карбонадо (обр. К-3) и зерна карбонадо (обр. К-2). Свечение азота системы N3 в алмазе в синей области спектра и системы 575 нм в карбонадо в желто-зеленой области.

тийных эклогитов – наиболее распространенный петрографический тип ксенолитов (Макеев, Дудар, 2001) в кимберлитовых трубках Среднего Тимана (Умбинской, Средненской и Водораздельной).

Эти сведения очень важны для определения стратегии дальнейших поисков алмазов на Среднем Тимане. Применение пироповой съемки как метода минералогических поисков алмазов на Среднем Тимане не привело к желаемым результатам. Ошибка заключалась в том, что алмазы искали по пиропам (хромовому пиропу с кноррингитовым миналом) - минералу-индикатору алмазов из ультраосновного мантийного парагенезиса, который на Среднем Тимане имеет крайне ограниченное распространение. Следовало проводить поиски по другому гранату – пироп-альмандину (кальций-магниевому гранату из мантийных эклогитов), который широко распространен на Среднем Тимане, в частности, в пределах проявления Ичетью.

Таким образом, мы опровергаем еще одно бытующее мнение, что в алмазоносном среднедевонском конглобрекциевом горизонте отсутствуют минералы-спутники алмаза, так как в нем нет пироба с кноррингитом. А значит, проявление Ичетью – это промежуточный коллектор, удаленный на значительное расстояние от коренного источника. На самом деле, минералы-спутники присутствуют в тяжелом шлихе и в больших количествах, это пироп-альмандин, ильменит и высокоглиноземистый хромшпинелид (алюмохромит) – аксессуарные минералы алмазоносных мантийных эклогитов. Следовательно, проявление Ичетью может находиться на небольшом удалении от коренного источника. Дополнительным доказательством служат обнаруженные нами в последнее время в продуктивном горизонте при ручной отмывке шлихов в лотке мелкие (0.3-0.4 мм) плоскогранные октаэдры алмаза с теми же характерными минеральными примазками на гранях (флоренсита), типоморфными для кривогранных алмазов проявления Ичетью. Примечательной особенностью мелкого плоскогранного алмаза оказалась находка в процессе микрозондового анализа на его грани характерных выделений сульфидоидатов меди ($\text{CuS}\cdot\text{CuI}$) вместе с солью $(\text{Na},\text{K})\text{Cl}$, образовавшихся в результате вакууммирования и вскрытия близповерхностных включений в алмазе и мгновенной кристаллизации этих солей из рассолов.

Ранее при поисково-оценочных работах на проявлении мелкие кристаллики алмазов пропускались, так как на промывочных агрегатах обогатительной фабрики были установлены сита с минимальным размером ячейки 2 мм.

Выявленная нами особенность распределения алмаза по размерности (двумодальное распределение) является свидетельством отсутствия сортировки в продуктивном горизонте проявления Ичетью. Оно теперь значительно ближе к тому, что наблюдается в коренных алмазных месторождениях - ким-

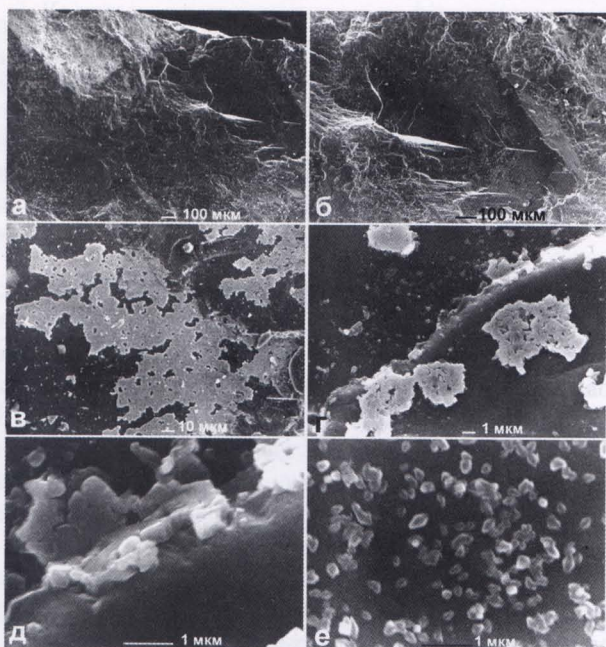


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение скола образца карбонадо (обр. К-3): а, б – октаэдрический кристалл алмаза внутри карбонадо, в-е – остатки металлической титановой пленки на грани октаэдра, окисленной до TiO_2 , на изображении д можно измерить толщину пленки (0,3 мкм), е – отдельные кристаллики TiO_2 .

берлитовых трубках Архангельской алмазоносной провинции (Архангельская..., 1999). А значит, коренной источник алмазов находится на небольшом расстоянии (в пределах нескольких километров) от проявления Ичетью.

То, что находки карбонадо в северном полушарии все-таки редкость, вероятно, связано не с тем, что их мало, а с тем, что карбонадо труднее обнаружить, чем алмаз. При промышленной сепарации на обогатительных фабриках кусочки карбонадо, возможно, пропускаются, так как автоматическое оборудование настроено на синюю рентгенолюминесценцию алмаза, а не на слабое свечение карбонадо в желто-зеленой области спектра. В лабораторных условиях карбонадо может пропускаться ввиду отсутствия навыков в его диагностике, а также потому, что кусочки карбонадо могут быть покрыты пленками оксидов железа или титана и не обнаруживать люминесценции. Найдки карбонадо в россыпях южных континентов в большинстве случаев производят старатели, имеющие боль-

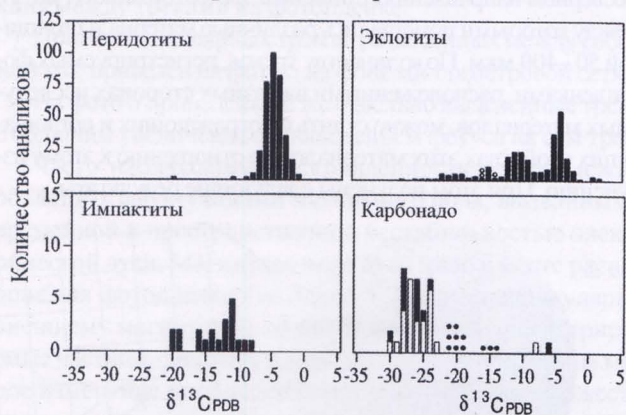


Рис. 6. Вариации значений изотопного состава углерода алмаза, карбонадо и углеродистых фаз импаکتитов из работы (De et al., 2001), Темные прямоугольники – образцы из центральной Африки, светлые – Бразилии. Кругиками показаны наши данные, темные – бразильские карбонадо, светлые – алмаз и карбонадо проявления Ичетью.

шой опыт добычи этих камней. Наиболее эффективным и надежным способом лабораторной диагностики карбонадо следует признать катодоллюминесценцию. Пятнистое оранжевое свечение карбонадо, с черными пятнами не светящихся областей, похожее на леопардовую шкуру (Рис. 3), трудно спутать с синей катодоллюминесценцией алмаза (Рис. 7) или с каким-либо другим минералом.

Генезис карбонадо и алмаза тесно связан, так как они образуются совместно, и их агрегаты известны в сростаниях. Скорее всего, карбонадо кристаллизуется в неравновесных условиях в кимберлитовом флюидизате в процессе транспортировки алмазов из мантии в земную кору, в это время на алмазы может нарастать карбонадо.

(продолжение статьи - см. стр. 40)

Макеев Александр Борисович

Зав. лаб. минералогии алмаза Института геологии Коми НЦ УрО РАН, д. г.-м. н. Закончил Казанский гос. университет в 1973 г. Сфера научных интересов – минералогия ультрабазитов, высокobarические парагенезисы, алмазы, платиноиды, хромиты, автор 12 монографий и более 150 статей.



Иванух Вольдемар

Проф. Департамента фундаментальной химии, Института химии, Университета Сан Пауло, Бразилия. Д. г.-м. н. Сфера научных интересов – геология и минералогия россыпей и коренных месторождений алмаза и карбонадо. Автор 120 статей.



Обыден Сергей Константинович

К. ф.-м. н., с.н.с. физического факультета МГУ. Сфера научных интересов – электронно-микроскопические исследования, цветная катодоллюминесценция минералов, материалов и искусственных соединений. Автор более 100 статей, 3 патентов.



Иванников Петр Валентинович

М.н.с. физического факультета МГУ. Сфера научных интересов – электронно-микроскопические исследования, цветная катодоллюминесценция минералов, материалов и искусственных соединений. Соавтор 15 статей.



Бряччинова Наталья Игоревна

В.н.с. Института геологии Коми НЦ УрО РАН, к. г.-м. н. Закончила Московский геолого-разведочный институт. Сфера научных интересов – минералогия ультрабазитов, породообразующие силикаты, серпентины, серпентиниты. Автор 4 монографий и 50 статей.



бета-распадчиком с максимальной энергией электронов 2,2 Мэв. Максимальная энергия электронов при распаде Cs^{137} 0,52 Мэв. Распад Cs^{137} сопровождается также излучением гамма-квантов с энергией 661 кэв. Поскольку это гамма-излучение высокоэнергетическое, оно мало поглощается в пленке и не вызывает за время проведения эксперимента сильного ее затемнения. Наибольший вклад в потемнение пленок вносят электроны, их тормозное излучение. Возможное максимальное время облучения пленок с источником Cs^{137} составило 10 мин.

При работе с фотопленками, как правило, вместе с облучаемыми пленками обрабатывались и контрольные фотопленки, прошедшие все стадии подготовки, кроме облучения. В качестве контрольных пленок в этом эксперименте мы использовали фотопленки, находившиеся в течение предполагавшегося времени эксперимента (10 мин) в постоянном магнитном поле напряженностью 20 кЭ. После проявления на контрольных пленках обнаруживаются такие же характерные треки, которые возникают при горении электрической дуги в жидкости. Эти треки мы назвали фоном. В случае нахождения пленок рядом с источником в отсутствие магнитного поля фон не зарегистрирован. При внесении в магнитное поле источника нейтрино (Sr^{90}) количество зарегистрированных за то же время треков увеличилось почти вдвое по сравнению с фоном. При этом часть треков имела явно радиальное направление от центра, где находился радиоактивный источник. Аналогичный результат получен и на источнике Cs^{137} .

Было проведено более 20 таких экспериментов с бета-источниками, по результатам которых можно сделать следующие предварительные заключения:

1. Величина фона (число треков, регистрируемое на фотопленках в магнитном поле без источника нейтрино) нестабильна во времени. Причем колебания этого фона полностью коррелируют с частотой появления треков на фотопленке при облучении ее дуговым разрядом (параллельный эксперимент в пределах одной лаборатории). Эта взаимосвязь носит, по всей видимости, фундаментальный характер, раскрытие которого принесет понимание механизма генерации и природы магнитного монополя. Можно лишь предположить, что источником фона является космическое излучение, несущее нестабильные к бета-распаду частицы, долетающие до Земли, такие как m мезоны (Росси, 1966). Поэтому этот фон уместно назвать космической составляющей.

2. Число треков на пленках, располагаемых на разных полюсах электромагнита во время проведения экспери-

мента, практически совпадает.

3. Уменьшение магнитного поля приводит к одновременному уменьшению космической составляющей и приращению числа треков, вызываемых наличием источника нейтрино. Представляет несомненный интерес проведение аналогичных экспериментов в более сильных магнитных полях.

4. При наличии космической составляющей внесение источника нейтрино в магнитное поле всегда увеличивает число регистрируемых на фотопленке треков. Это увеличение можно трактовать как прямое доказательство теоретического предвидения Ж. Лошака о тождественности магнитного монополя и магнитно-возбужденного нейтрино.

5. Примерно равный результат, полученный при использовании двух, существенно различающихся по активности бета-источников, свидетельствует о преимущественной роли космических частиц в процессе генерации магнитных монополей.

Обобщая результаты двух разделов этой работы, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. При электровзрыве и электроразряде в жидкости уплотненный жидкостью протекающий ток является источником больших магнитных полей, в котором при бета-распаде космических частиц рождаются магнитно-возбужденные нейтрино, т.е. магнитные монополи.

2. Невыясненная пока компонента космического излучения является необходимым фактором рождения магнитных монополей при бета-распаде нестабильных ядер в магнитном поле.

3. S- и N- магнитные монополи рождаются парами.

Автор выражает глубокую благодарность Л.И. Уруцкову за полезные дискуссии и сотрудникам физического факультета Казанского университета за помощь и поддержку, которую он постоянно оказывал в процессе выполнения работы.

Литература

Ивойлов Н.Г., Уруцков Л.И. Влияние «странного» излучения на мессбауэровские спектры Fe^{57} в металлических фольгах. *Прикладная физика*, № 5. 2004.

Мартемьянов В.П., Хахимов С.Х. Торможение монополя Дирака в металлах и ферромагнетиках. *ЖЭТФ*, т.62, 1972. 35-41.

Росси Б. *Космические лучи*. Атомиздат, 1966.

Уруцков Л.И., Ликсонов В.И., Цинов В.Г. Экспериментальное обнаружение «странного» излучения и трансформации химических элементов. *Прикладная физика*, № 4, 2000. 83-100.

Lochak G., *Ann. Fond. L. de Broglie*, №8. 1983. 345.

Lochak G., *Ann. Fond. L. de Broglie*, №9. 1984. 5.

Lochak G. The symmetry between Electricity and Magnetism and the problem of the existence of Magnetic Monopole. *Advanced Electromagnetism*. World Scientific Publishing Co., Singapore, 1995. 105-147.

(окончание статьи *Макеев и др.*, начало - см. стр. 34-37)

Работа выполнена при финансовой поддержке Президентской программы «Научные школы» (грант 2250.3003.5).

Литература

Алмазы Среднего Тимана. А.Б. Макеев, В.А. Дудар, В.П. Лютов и др. Сыктывкар.: Геопринт, 1999.

Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: Изд-во МГУ, 1999.

Галимов Е.М., Каминский Ф.В., Кодина Л.А. Новые данные по изотопному составу углерода карбонадо. *Геохимия*, 1. 1985. 18-21.

Горшков А.И., Титков С.В., Сивцов А.В. и др. Первые находки самородных металлов Cr, Ni и a-Fe в карбонадо из алмазных месторождений Якутии. *Геохимия*, № 4. 1995. 588-591.

Горшков А.И., Титков С.В., Сивцов А.В. и др. Редкоземельные минералы в карбонадо из якутских алмазных месторождений. *Геохимия*, № 6. 1996. 1-6.

Макеев А.Б., Иванух В., Обьден С.К. и др. Минералогия, состав

включений и катодолюминесценция карбонадо из штата Баия, Бразилия. *Геология рудных месторождений*, т. 44. № 2. 2002. 99-115.

Макеев А.Б. Пленки самородных металлов на алмазах и их генетическое значение. *Сыктывкарский минералогический сборник*. № 30. Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН; Вып.107. 2001. 66-92.

Макеев А.Б., Дудар В.А. *Минералогия алмазов Тимана*. СПб.: Наука. 2001.

Макеев А.Б., Соболев В.К., Кисель С.И. и др. Самородные металлы в ореолах кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции. *Докл. РАН*, т. 385. №5. 2002. 667-681.

Макеев А.Б., Филиппов В.Н. Металлические пленки на природных алмазах (месторождение Ичетью, Средний Тиман). *Докл. РАН*, т. 368. № 6. 1999. 808-812.

De S., Heaney P.J., Vicenzi E.P. and Wang J. Chemical heterogeneity in carbonado, an enigmatic polycrystalline diamond. *Earth Planet. Sci. Lett.*, V. 185, 2001. 315-330.

Makeyev A.B., Bryanchaninova N.I. Curve-face diamond of the north and north-east of the Russian Platform. *Geoscience*, 15(2). 2001. 124-130.