

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 546.26.027 : 549.211

© 1990 г.

Э. М. ГАЛИМОВ, В. П. КУЗНЕЦОВА, К. А. МАЛЬЦЕВ, В. В. ГОРБАЧЕВ,
Р. Б. ЗЕЗИН

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ АЛМАЗОВ, СОДЕРЖАЩИХ
ВКЛЮЧЕНИЯ АЛМАЗА

Существуют алмазы, которые содержат в качестве включений другой алмаз. Включения часто имеют декорированную поверхность, сколы, следы коррозии, позволяющие рассматривать алмазы-включения как протогенетические, т. е. образовавшиеся и имевшие собственную историю до формирования алмаза-хозяина [1]. Считалось, что подобные алмазы являются редкостью. Однако более внимательное изучение обширных коллекций из некоторых кимберлитовых трубок показало, что явление включения алмаза в алмаз широко распространено, хотя визуально их присутствие не всегда легко обнаружить.

В данной работе исследован изотопный состав углерода алмаза-включения и алмаза-хозяина в нескольких кристаллах. Материалом послужили алмазы из кимберлитовой трубки Удачная Далдыно-Алакитского района Якутии.

Включения извлекали путем раскалывания кристалла в ступке Абиха. При этом включение, как правило, легко изолировалось от алмаза-хозяина. Алмазы обрабатывали и подготавливали к изотопному анализу по описанной нами ранее методике. Изотопный состав измеряли на масс-спектрометре ВАРИАН-МАТ-230 с погрешностью, не превышающей $\pm 0,05\%$. Результаты анализа представлены в виде величин $\delta^{13}\text{C}$ (‰) по отношению к стандарту PDB.

ОПИСАНИЕ ОБРАЗЦОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА

Все исследованные кристаллы имели октаэдрическую форму с занозистой и сноповидной штриховками, развитыми на месте ребер октаэдра. На некоторых образцах ребра октаэдров притуплены выпуклыми поверхностями ромбододекаэдра. Размер кристаллов варьировал в пределах 2,5—4 мм.

Образец А-14 содержал в промежуточной зоне незакономерный сросток ступенчатых октаэдров, расположенных последовательно в направлении к одной из вершин алмаза-хозяина. Поверхность включения была частично декорирована и в участках, где декорирование отсутствовало, четко видны микроскопические субиндивиды в виде плоскогранных октаэдрических вершинок (рис. 1). Изотопный состав углерода двух обломков алмаза-хозяина оказался равным $-2,88$ и $-2,97\%$, тогда как обломки включения показали значение $\delta^{13}\text{C} = -4,24$ и $-4,34\%$.

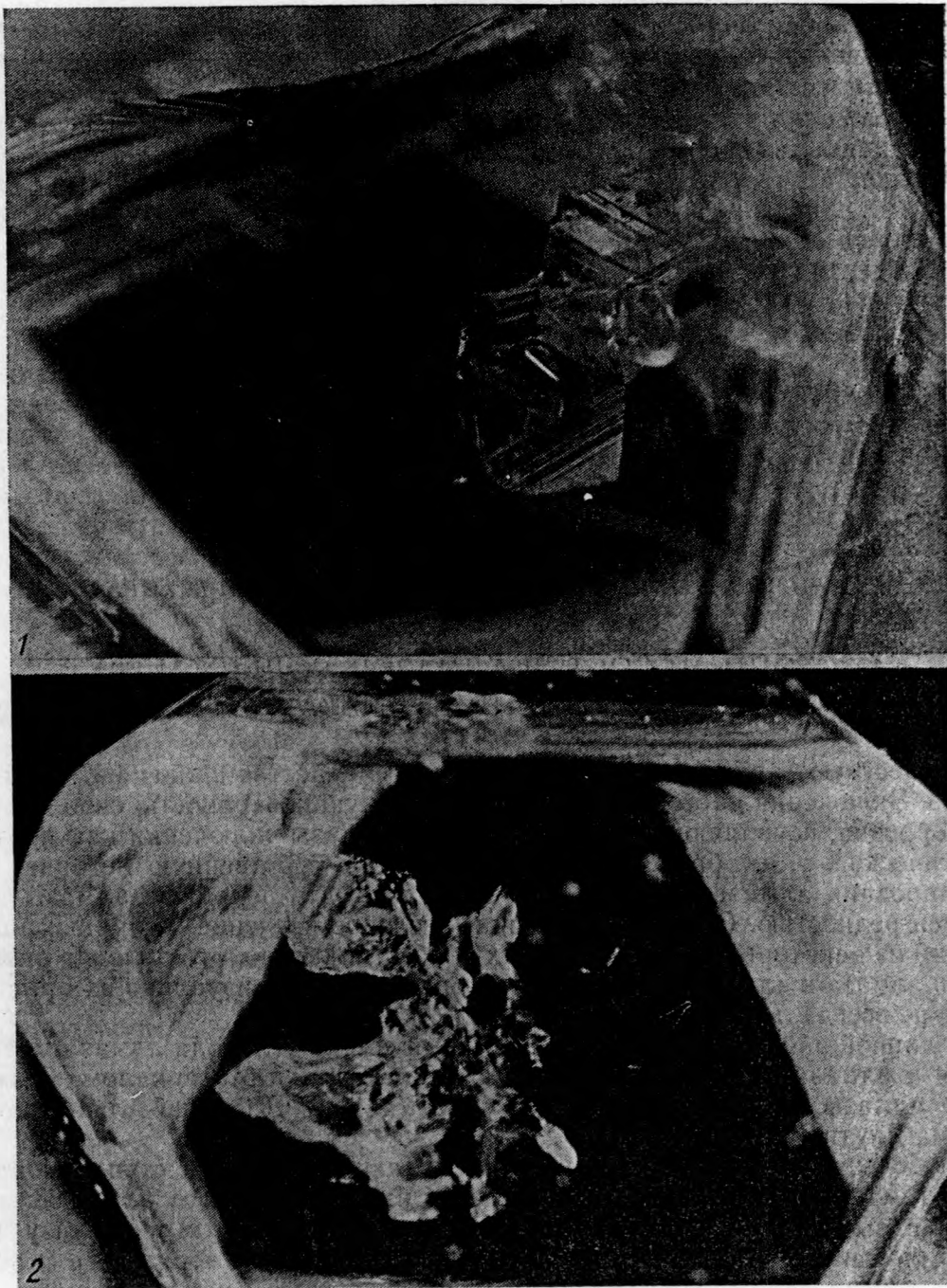


Рис. 1. Образец А-14. Увел. 100 (фрагмент включения)

Рис. 2. Образец А-1. Увел. 25

Образец А-1 имел несколько включений алмаза, одно из которых имело форму октаэдра со ступенчатым развитием граней, а другие представлены обломками неправильной формы, различными по размеру, с характерными для алмаза сколовыми поверхностями (рис. 2). Зона расположения включений занимала центральную часть алмаза-хозяина с небольшим смещением к одной из граней кристалла. На поверхности включения с множеством субиндивидов октаэдрической формы наблюдалось редкое точечное декорирование. Все алмазные включения бесцветны и не отличались по люминесценции от кристалла-хозяина. Из-за близких цветовых характеристик и высокой прозрачности, малой степени декорирования и преимущественно обломочной формы включений их извлечение и последующая диагностика не были гарантированы. Изотопному анализу подверглись три обломка, два из которых, по-видимому, оказались материалом алмаза-хозяина, а третий с большей вероятностью при-

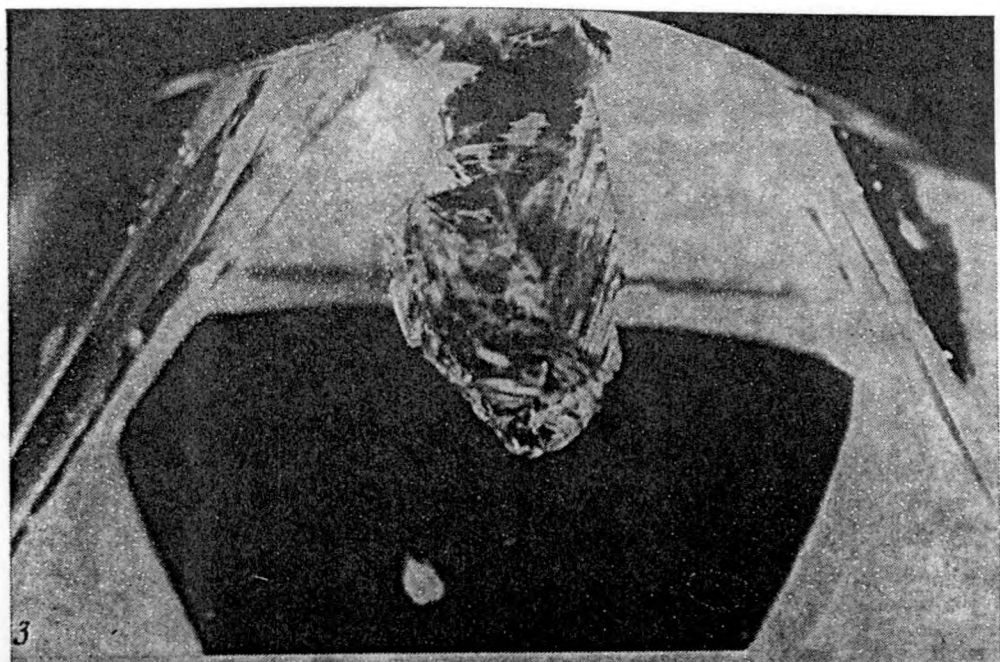


Рис. 3. Образец А-2. Увел. 100 (фрагмент включения)

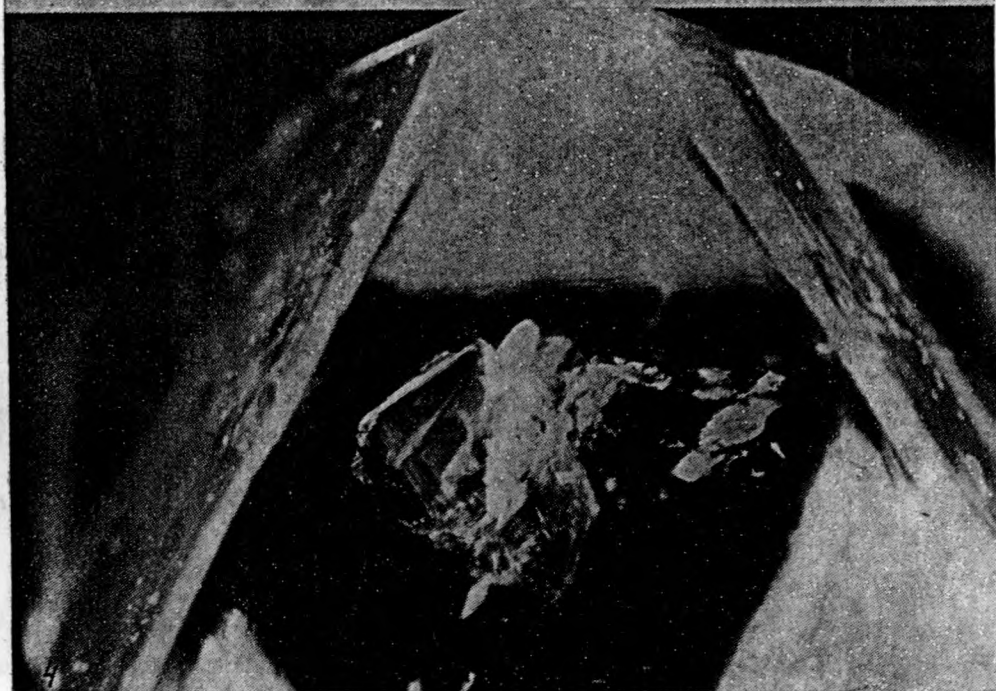


Рис. 4. Образец А-3. Увел. 25

надлежит алмазу-узнику. Изотопный состав углерода соответствует: —4,76, —4,83, —5,06‰.

Образец А-2 содержал алмазное включение искаженной октаэдрической формы со ступенчатым развитием граней (рис. 3). Включение расположено в зоне одной из вершин кристалла-хозяина. За счет интенсивного пятнистого декорирования поверхности алмаз-узник имел темную окраску. Результаты изотопного анализа $\delta^{13}\text{C}$ обломка пригранной части алмаза-хозяина —4,26, обломка его центральной части —4,35‰ и части кристалла-включения —5,23‰.

В образце А-29 обнаружено алмазное включение октаэдрической искаженной формы, расположенное в центральной зоне. Поверхность включения имела частичное декорирование. Изотопный состав трех обломков алмаза-хозяина имеет диапазон вариаций $\delta^{13}\text{C}$ от —4,25 до

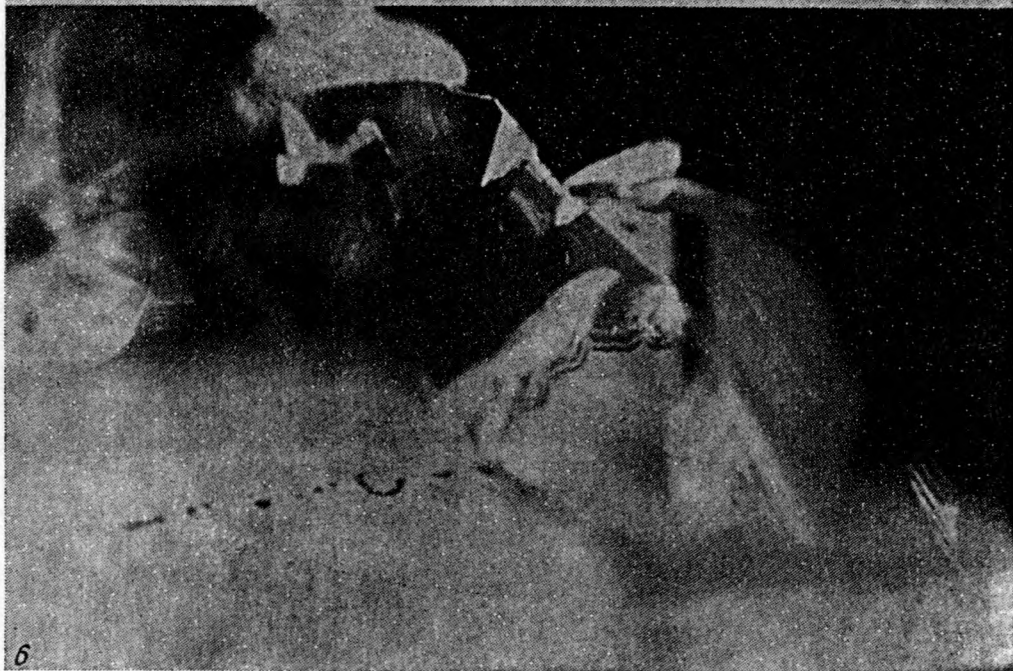
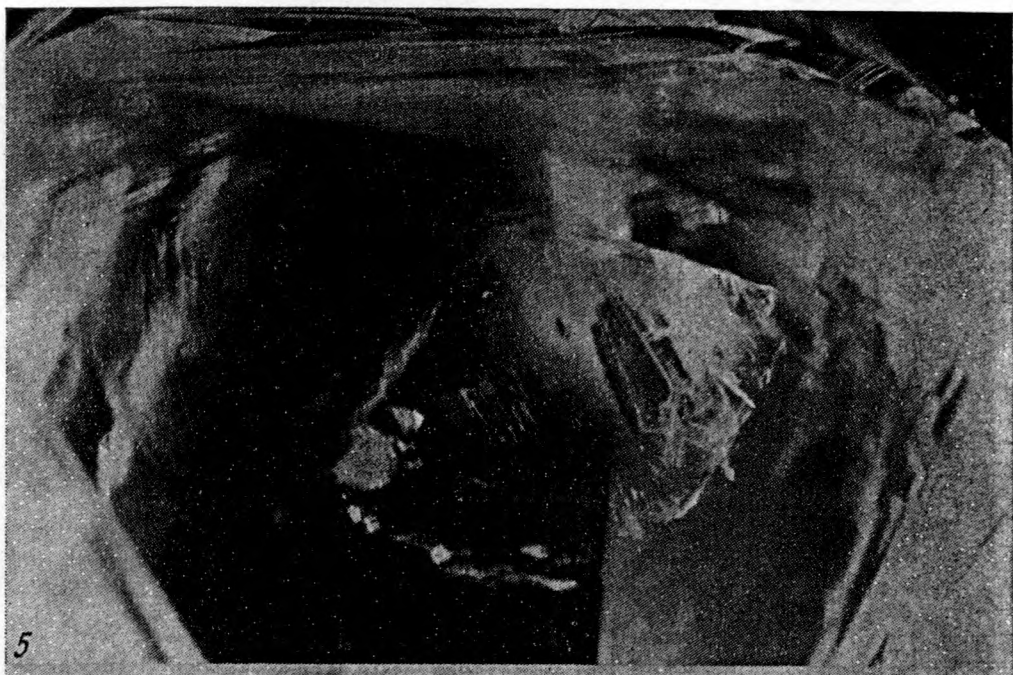


Рис. 5. Образец А-11. Увел. 25

Рис. 6. Образец А-8. Увел. 100 (фрагмент включения)

—4,41‰, тогда как обломок алмаза-включения показал значение —5,17‰.

Образец А-3 содержал алмазное включение в промежуточной зоне, представленное сложным незакономерным сростком (алмазным агрегатом) (рис. 4). Отдельные грани включения хорошо визуально наблюдались и, кроме того, имели частичное декорирование, а другие просматривались только по отдельным фрагментам их строения в виде сколовых поверхностей или мельчайших октаэдрических вершинок. Изотопный состав углерода трех обломков алмаза-хозяина —4,81, —4,96 и —4,99‰, а четырех обломков алмаза-узника —5,04, —5,20, —5,30 и —5,65‰.

В образце А-11 найдено алмазное включение правильной октаэдрической формы в центральной зоне. На поверхности включения проявлено частичное декорирование, подчеркивающее особенности его морфологии (рис. 5), а также микросколы и множество микроскопических октаэдрических вершинок, приуроченных главным образом к острым ее участкам.

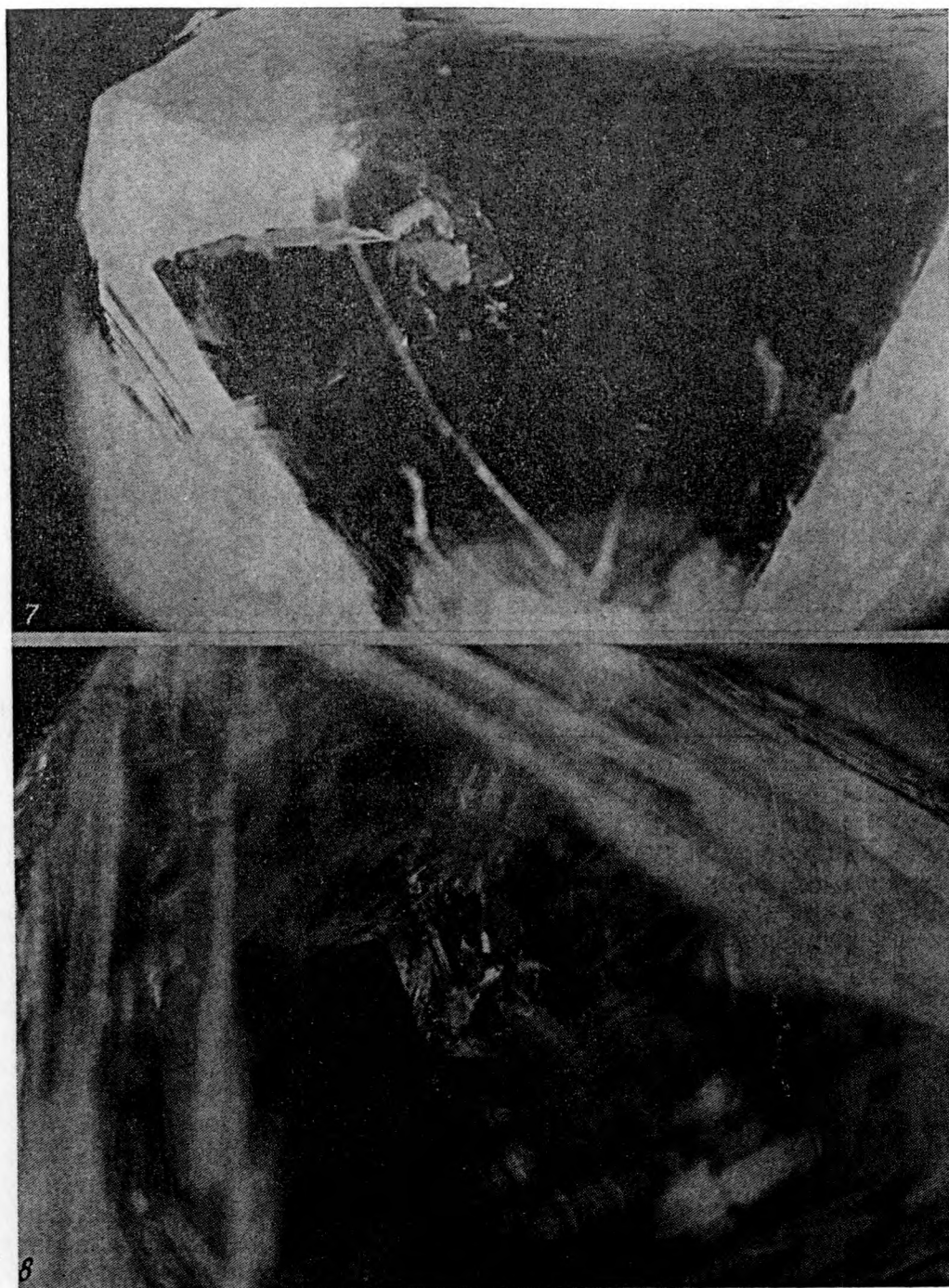


Рис. 7. Образец А-5. Увел. 25

Рис. 8. Образец А-17.

Увел. 25

Изотопный состав углерода алмаза-хозяина —4,43, —4,93, —5,14, —5,34, —5,50‰, тогда как для обломка включения —6,71‰.

Образец А-8 содержал включение в виде незакономерного сростка плоскогранных октаэдрических алмазов различной величины. Расположено включение в промежуточной зоне образца. На поверхности сростка проявлено неравномерное декорирование в виде единичных точек, мелких пятен, а также обнаружен агатоподобный рисунок декорирования (рис. 6), образованный, вероятно, вследствие коррозии. Кроме того, на поверхности этого протогенетического включения четко проявлены субиндивиды в виде множества мелких октаэдрических кристалликов сингенетических алмазу-хозяину. Изотопный состав углерода трех обломков кристалла-хозяина (два последних из его приповерхностной части):

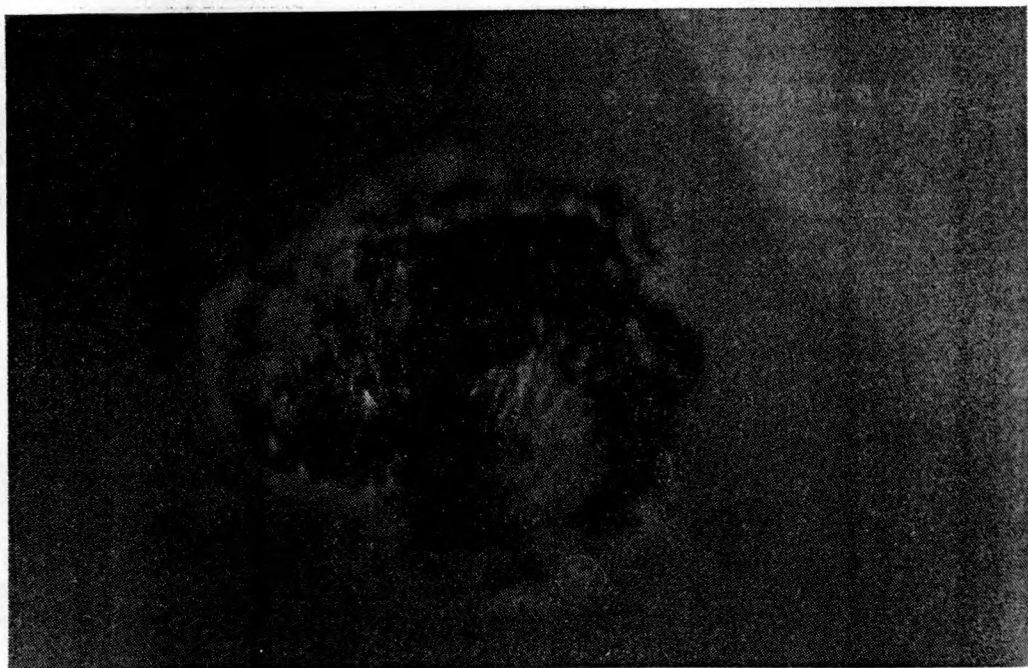


Рис. 9

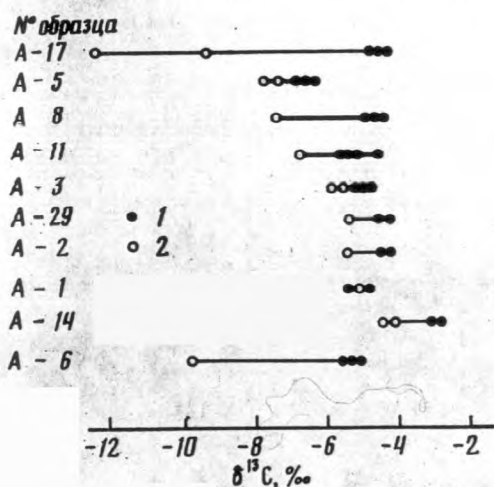


Рис. 9. Образец А-6.
Увел. 100

Рис. 10. Вариации изотопного состава углерода в алмазах, содержащих включения алмаза
1 — алмаз-хозяин, 2 — алмаз-включение

Рис. 10

—4,34, —4,60 и —4,66‰, а обломок включения — сростка показал значение $\delta^{13}\text{C} = -7,30\text{‰}$.

Образец А-5 имел алмазное включение незакономерного сростка двух октаэдров, один из которых был удлиннен по оси симметрии третьего порядка (рис. 7). Расположено включение в периферийной зоне образца, вблизи октаэдрической вершины. Характерная особенность алмаз-хозяина — интенсивное, почти сплошное декорирование его поверхности. Изотопному анализу подвергали три обломка кристалла-хозяина, для которых установлены следующие значения $\delta^{13}\text{C} = -6,16, -6,24, -6,59\text{‰}$ и два обломка алмаза-включения, имеющие соответственно —7,23 и —7,62‰.

В периферийной зоне образца А-17 находилось алмазное включение, представленное незакономерным сростком изометричной формы (рис. 8). Поверхность кристалла-включения имела черно-серую окраску за счет интенсивного декорирования. Данные изотопного анализа различных обломков алмаз-хозяина соответствуют —4,23, —4,40 и —4,48‰. Изотопный состав углерода алмаза-включения показал существенную разницу значений для двух его обломков, т. е. $\delta^{13}\text{C} = 9,7$ и —12,10‰.

Образец А-6 содержал включения кристалликов алмаза (11 штук), имеющих различную степень декорирования. Все включения были распо-

ложены в приповерхностной зоне кристалла-хозяина. Изотопному анализу подвергали одно включение округло-октаэдрической формы (рис. 9), имеющее интенсивное декорирование поверхности, для которого установлено значение $\delta^{13}\text{C} = 9,76\text{‰}$. Данные изотопного состава углерода различных обломков алмаза-хозяина соответствуют $-5,11$, $-5,28$ и $-5,55\text{‰}$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из рис. 10, на котором суммированы полученные результаты, изотопный состав углерода алмаза-включения отличается от такового алмаза-хозяина. В некоторых случаях различие достигает 2‰ и более. Во всех исследованных случаях углерод включения обогащен легким изотопом относительно углерода алмаза-хозяина. Иногда это обогащение превосходит уровень ($\delta^{13}\text{C} \leq -10\text{‰}$), за которым алмазы рассматриваются как аномально обогащенные [2]. Таким образом, налицо явное закономерное отличие изотопного состава углерода алмаза-включения и алмаза-хозяина.

Аналогичное явление было обнаружено нами ранее при исследовании оболочечных алмазов [3]. Последние содержат ядро, иногда отличающееся от внешней части алмаза цветом, прозрачностью, габитусом (как правило, внешняя форма октаэдрическая, а ядро может иметь кубический габитус). Характерно, что оболочка разных кристаллов имеет близкий изотопный состав, в то время как изотопный состав ядра широко варьирует, в большинстве случаев, будучи изотопно легче оболочки, т. е. складывается впечатление, что внутренняя часть подобных алмазов формируется из фракционированного углерода, в то время как внешняя часть наращается из гомогенного по изотопному составу источника углерода.

Подобную ситуацию мы имеем и в данном случае, сравнивая изотопную характеристику алмаза-включения и алмаза-хозяина. Иначе говоря, в тех случаях, когда морфологически различима более ранняя и более поздняя генерация алмаза, как это имеет место в оболочечных алмазах или алмазах, содержащих включение алмаза, оказывается, что ранняя генерация связана с фракционированным, а поздняя с более однородным источником углерода. Надо сказать, что с точки зрения тривиальных объяснений проще представить обратную ситуацию, когда зарождение алмаза происходит за счет неизмененного углерода, имеющего характерный для первичного углерода мантии изотопный состав ($\delta^{13}\text{C} \approx -4,5\text{‰}$), а в формировании более поздней генерации участвует измененный углерод, фракционированный либо в мантии, либо привнесенный из коры и т. п. Тот факт, что в действительности имеет место обратное явление, в известном смысле — парадокс, разрешение которого, по-видимому, важно для понимания механизма образования алмазов.

Одно из возможных объяснений состоит, на наш взгляд, в следующем. Зарождение алмазов связано с движением флюида в мантии. В процессе движения восстановленного флюида через более окисленную мантию, как было показано, при определенных условиях возможно фракционирование изотопов [4]. При этом могут формироваться алмазы весьма разного изотопного состава: от нормального для мантии ($\delta^{13}\text{C} \approx -4,5\text{‰}$) в начальной стадии эволюции флюида, до весьма обогащенных легким изотопом алмазов, отвечающих поздним этапам движения флюида. Алмазы, генетически непосредственно связанные с флюидом, дают весь наблюдаемый диапазон вариаций изотопного состава от -34 до $+2\text{‰}$. Выкристаллизовавшись из флюида, алмазы, вероятно, могут пребывать более или менее длительное время в участках мантии, где произошло их образование, и при определенных условиях расти за счет углерода среды. Углерод среды, не вовлеченный в движение флюида, очевидно, сохраняет свой изотопный состав неизменным, близким к величине $\delta^{13}\text{C} \approx -4,5\text{‰}$, нормальный для углерода мантии в целом. Этот углерод и составляет тот изотопно-гомогенный резервуар, который служит источником поздней генерации алмаза. Таким образом, предполагается двойст-

венный механизм образования алмаза — формирование его из флюида движущегося через породы мантии и возможное доращивание в стабильных условиях за счет углерода среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсанов Г. П., Гаранин В. К., Кузнецова В. П. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1988. № 3. С. 70.
2. Галимов Э. М. // Геохимия. 1984. № 8. С. 1091.
3. Ивановская И. Н., Зезин Р. Б., Галимов Э. М. // Тез. VIII Всесоюз. симпозиум по стабильным изотопам в геохимии. М.: Изд. ГЕОХИ АН СССР, 1980. С. 44.
4. Галимов Э. М. // Геохимия. 1988. № 2. С. 258.

Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР,
Государственный Институт Алмаззолото, г. Москва

Поступила в редакцию
09.09.88

УДК 550.8.014 : 551.464

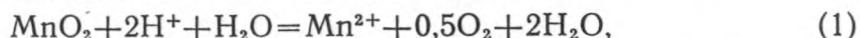
© 1990 г.

В. С. САВЕНКО

О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ

В [1] была высказана гипотеза, согласно которой образование пелагических железомарганцевых конкреций связано с мобилизацией марганца в тонком (порядка нескольких миллиметров) слое осадков, происходящей под действием органического вещества осаждающейся взвеси. В [2] были приведены доказательства реальности данной гипотезы, полученные на основе обобщения результатов экспериментов с седиментационными ловушками, показавшего, что даже на глубинах 4—6 км среднее содержание органического углерода в осаждающемся материале составляет 4—5%, т. е. вполне достаточно для развития процессов восстановительной мобилизации марганца. Низкое содержание органического углерода в пелагических осадках (0,2—0,3% $C_{орг}$), соответствующее слою 0—5 см, которое ранее рассматривалось как однозначное доказательство невозможности классического диагенеза в пелагиали океанов, в свете данных седиментационных ловушек связано с разложением подавляющей массы органического вещества в поверхностной пленке осадков, что обусловлено крайне низкой скоростью осадконакопления. Однако в отношении конкретного механизма выделения рудного вещества железомарганцевых конкреций остается много неясного.

Согласно широко распространенному взгляду, основанному главным образом на термодинамическом анализе реакции



осаждение двуокиси марганца возможно из растворов с концентрацией Mn^{2+} 0,0001—0,001 мг/л, т. е. на уровне фоновых концентраций марганца в морской воде. Не так давно эту точку зрения разделял и автор [3]. Но проведенные нами эксперименты по определению растворимости двуокиси марганца в морской воде и 0,2 М растворах сульфата натрия [4], а также более ранние и, к сожалению, забытые опыты Л. П. Листой [5] позволяют усомниться в правильности традиционных представлений, поскольку свидетельствуют о значительно более высоких равновесных концентрациях марганца ($\sim 0,04$ — $0,1$ мг/л)¹. Таким образом, выриси-

¹ Уже после сдачи статьи И. Л. Ходаковский любезно указал нам на экспериментальную работу [6], в которой растворимость MnO_2 была определена также равной 0,05—0,1 мг/л.