

УДК 550.42:546.26:549.211

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА АЛМАЗОВ УРАЛА, ТИМАНА, САЯН, УКРАИНЫ И ДРУГИХ РАЙОНОВ

Э. М. ГАЛИМОВ, Ф. В. КАМИНСКИЙ, И. Н. ИВАНОВСКАЯ

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР
и Центральный научно-исследовательский институт цветных
и благородных металлов, Москва*

Приводятся результаты определений изотопного состава углерода алмазов из россыпей Урала, Тимана, Саян, Украины, бразильских карбонадо и космогенных алмазов. Они находятся в весьма широком интервале значений $\delta^{13}\text{C}$ (от $-4,5$ до $-30,6\%$). На основании известных определений изотопного состава углерода алмазов их диапазон подразделяется на четыре группы, соответствующие областям вариаций изотопного состава некоторых классов природных соединений углерода. Рассматривается положение изученных алмазов в предложенной классификации.

После первых определений изотопного состава алмазов [1-3] возникло представление о том, что для алмазов характерна довольно узкая область вариации $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в диапазоне преимущественно от -4 до -9% по шкале $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ природной распространенности изотопов углерода.

Эта область, как было показано одним из авторов данной работы, отвечает интервалу возможных значений среднего изотопного состава углерода земной коры (от -3 до -8%), а следовательно, среднего изотопного состава углерода, вынесенного в земную кору в процессе дегазации мантии [4, 5].

Однородный изотопный состав алмазов и принадлежность их к линии эволюции подвижного углерода мантии свидетельствовали, казалось бы, о единственно возможном их генезисе и глубинной природе исходного углерода.

Первое исключение было обнаружено А. П. Виноградовым с соавторами [6] для карбонадо, которые оказались заметно обогащены изотопом ^{12}C ($\delta^{13}\text{C}$ для четырех кристаллов $-27,8$; $-28,0$; $-28,1$; $-28,4\%$). Затем В. В. Ковальский, Э. М. Галимов и В. С. Прохоров установили, что некоторые обычные алмазы также обогащены легким изотопом углерода ($\delta^{13}\text{C}$ для пяти кристаллов от $-21,4$ до $-32,3\%$) [7]. Стало очевидным, что вопрос об источнике углерода алмазов более сложен, чем он представлялся ранее по первым результатам анализа их изотопного состава.

Было обращено внимание на то, что все кристаллы с необычным изотопным составом относятся к числу окрашенных. В связи с этим В. В. Ковальский и Н. В. Черский [8] предположили, что окрашенные алмазы образуются за счет легкого углерода осадочных пород. Однако не все окрашенные алмазы относились к числу изотопически легких. Как было отмечено Э. М. Галимовым [9], исследованные окрашенные алмазы отличаются не столько специфической обогащенностью легким изотопом, сколько широко разнообразием изотопного состава. На рис. 1 воспроизводится гистограмма из работы [9]. В этой же работе на основе анализа термодинамических изотопных эффектов было показано, что изотопически легкие и тяжелые алмазы не могут образоваться из одного

и того же исходного материала одним и тем же путем, т. е. была предложена множественность исходных форм углерода или механизмов образования алмазов.

Следует отметить, что за исключением одного образца из кимберлитовой трубки «Мир» ($\delta^{13}\text{C} = -32,3\text{‰}$ [7]), все алмазы, оказавшиеся изотопически легкими, относятся к россыпным месторождениям, для которых коренные источники не установлены. Поэтому представлялось целе-

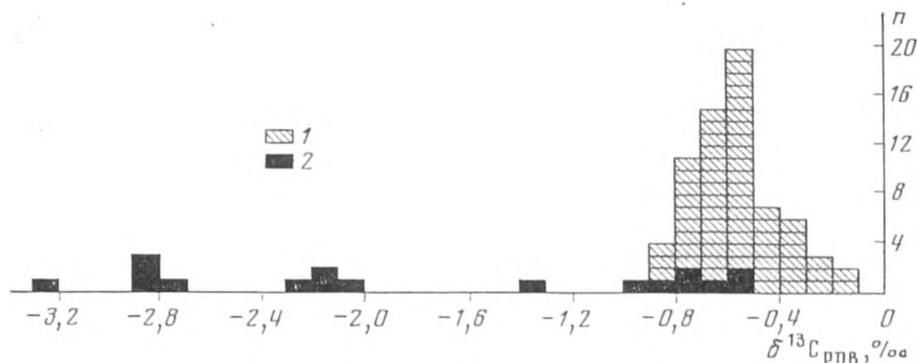


Рис. 1. Гистограмма распределения изотопного состава природных алмазов
1 — бесцветные алмазы, а также образцы, которые предполагаются бесцветными (в тех случаях, когда в описании нет указаний); 2 — окрашенные алмазы

сообразным исследовать более широкий круг образцов, относящихся к месторождениям подобного типа, тем более что в последнее время появляется все больше данных о том, что возможны алмазы некимберлитового генезиса [10—12]. В связи с этим мы отобрали и подвергли анализу алмазы из россыпей Урала, Тимана, Саян, Украины, не связанные непосредственно с кимберлитами, а также космогенные алмазы и бразильские карбонадо.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАННЫХ АЛМАЗОВ

Всего было подвергнуто анализу 27 кристаллов алмаза из различных регионов, представляющих разные габитусные формы, — как бесцветные, так и окрашенные в различные цвета.

Уральские алмазы. ПА-122, вес 18,4 мг. Кристалл переходной формы (октаэдроид — додекаэдроид). Грани с незначительными следами травления. Цвет слабо-дымчатый, прозрачный.

ПА-128, вес 32,0 мг. Додекаэдроид, удлинённый и уплощенный по осям L_3 . Грани округлые, с дисковой скульптурой. Цвет золотисто-желтый, прозрачный.

ПА-176, вес 33,5 мг. Додекаэдроид, удлинённый и уплощенный по осям L_3 . Грани гладкие, с незначительными следами коррозии. Гранные швы четкие. Бесцветный, с желтоватым нацветом. На некоторых гранях имеются зеленые пятна пигментации.

ПА-181, вес 35,4 мг. Слегка деформированный додекаэдроид. Грани хорошо развиты, ровные, гладкие, с неглубокими коррозионными каналами. Ребра прямые. Сколов нет. Цвет слабо-золото-желтый, прозрачный. На поверхности встречаются следы пигментации.

ПА-182, вес 31,9 мг. Обломок комбинационного кристалла с плоскими гранями октаэдра и кривограмными поверхностями додекаэдроида (?). На гранях следы травления. На сколах веерообразная штриховка. Бесцветный, прозрачный.

ПА-183, вес 35,2 мг. Сложнодеформированный комбинационный кристалл неясного габитуса. Имеются грани куба с четырехугольными ям-

нами травления, округлые грани со сложным рельефом, сколы. Бесцветный, прозрачный.

ПА-190, вес 34,5 мг. Комбинационный кристалл (октаэдр и додекаэдроид?). Грани октаэдра плоские, с треугольными ямками травления. Округлая поверхность гладкая. Бесцветный, прозрачный.

Тиманский алмаз. Вес 12,0 мг. Обломок сложнодеформированного кристалла. Поверхность граней сильно протравлена, с ямками и кавернами. Одна из граней является гранью октаэдра. На сколах веерообразная штриховка, серо-зеленый, полупрозрачный.

Саянские алмазы. Ш-34, вес 31,2 мг. Кристалл сложной формы, неопределенного габитуса (додекаэдроид?). Сохранились три грани со слабым ступенчато-волнистым рельефом и треугольниками растворения. Кристалл сильно изношен, на сколах штриховка. Цвет серовато-зеленый, прозрачный. На поверхности имеются пятна пигментации.

Ш-36, вес 34,8 мг. Двойник из пяти комбинационных кристаллов (октаэдр — додекаэдрондов?). Поверхность граней черепитчатая, с треугольниками травления. Бесцветный, прозрачный.

Ш-48, вес 26,6 мг. Обломок неправильной формы без граней. На сколах сложные ступенчатые изломы. Цвет желтоватый. Поверхность сколов матирована. Центральная часть обломка прозрачная; из-за матовой поверхности сколов в целом алмаз полупрозрачен. На поверхности бурое пятно пигментации.

Ш-49, вес 38,4 мг. Комбинационный кристалл (октаэдр — додекаэдроид), сильно уплощенный по оси L_3 . Рельеф граней тонкопластинчатый. Бесцветный, прозрачный.

Ш-51, вес 13,6 мг. Шпинелевый двойник из трех додекаэдрондов. Грани гладкие, поверхность их слегка корродирована, с мелкими ямками травления. Ребра и гранные швы неровные, извилистые. Бесцветный, прозрачный.

Ш-76, вес 39,0 мг. Комбинационный кристалл (октаэдр — ромбододекаэдр). Грани имеют тонкопластинчатое ступенчатое строение, на поверхности — мелкие ямки растворения. Цвет дымчатый, с желтым оттенком. Непрозрачный.

Ш-88, вес 21,3 мг. Обломок сложнодеформированного кристалла (додекаэдроид?). Гранные швы нечеткие, извилистые. Сколы с раковистым изломом, имеют сноповидную штриховку. Цвет слабо-серо-зеленоватый. Полупрозрачный.

Ш-91, вес 52,0 мг. Обломок сложнодеформированного кристалла (додекаэдроид?). Сохранившиеся грани округлые, блестящие, со слабо-волнистым ступенчатым рельефом. На сколах штриховка. Цвет дымчатый, прозрачный. На поверхности имеются зеленые пятна пигментации.

Ш-95, вес 56,7 мг. Октаэдроид. Грани округлые, ровные. На гранях слабая паутина поверхностных трещин, иногда занозистый микрорельеф. Бесцветный, прозрачный.

Ш-256, вес 22,7 мг. Переходная форма от октаэдроиды к додекаэдроду. Кристалл деформирован. Грани матовые, сильно корродированы, имеют ямки, трещинки. Розовый, полупрозрачный.

Украинские алмазы. У-1. Бесформенные осколки. Поверхности без граней, слегка протравленные, блестящие. Бесцветные, прозрачные.

У-2. Плоскогранные кубы и их обломки. Выделены и проанализированы желтые, фиолетовые и черные зерна.

У-3. «Сланцеватые» зерна уплощенного облика. Поверхности без граней. Выделены и проанализированы желтые и черные зерна.

Космогенные алмазы. Пластинчатые кристаллы изометричной формы, имеющие, по данным рентгеноструктурного исследования, примесь лонсдейлитовой фазы. Поверхность матовая. Желтоватые, полупрозрачные зерна. Проанализирован также графит из вмещающих пород.

Бразильские карбонадо. № 236, вес 18,5 мг. Округлый обломок неправильной формы. Поверхность местами пористая, темно-серого цвета. № 239, вес 20,3 мг. Обломок неправильной формы. Поверхность пористая, черного цвета.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Анализ изотопного состава алмазов производили путем окисления их в токе кислорода на окиси меди по методике и на системе, описанной в работе [5]. Измерения относительного содержания изотопов углерода осуществляли на масс-спектрометре типа Varian-MAT-230 с точностью $\pm 0,01\%$ ($\pm 0,1\%$). Результаты анализов даны в величинах $\delta^{13}\text{C}$ (‰), представляющих собой отклонение в тысячных долях (промиллях) $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ образцов от $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ стандарта PDB.

Результаты исследования изотопного состава алмазов и карбонадо представлены в таблице и на рис. 2.



Рис. 2. Изотопный состав алмазов из россыпей Урала. Тимана, Саян, Бразилии, Украины

1 - уральские алмазы; 2 - тиманский алмаз; 3 - саянские алмазы; 4 - украинские алмазы; 5 - бразильские карбонадо; 6 - космогенные алмазы; 7 - графит

Величины $\delta^{13}\text{C}$ для всей исследованной совокупности кристаллов варьируют в очень широком диапазоне: от $-4,5$ до $-30,6\%$. Более того, достаточно заметная дисперсия значений $\delta^{13}\text{C}$ присуща сравнительно однородной по геологическим и внешним минералогическим признакам серии кристаллов Урала ($\delta^{13}\text{C}$ от $-6,4$ до $-24,3\%$) и Саян ($\delta^{13}\text{C}$ от $-4,5$ до $-14,0\%$) *.

Часть окрашенных кристаллов оказалась изотопически «тяжелой», как это отмечалось и ранее [7, 9]. Новым, однако, явилось то, что в число относительно «легких» кристаллов попали совершенно бесцветные (ПА-183, Ш-36) или весьма слабо окрашенные (ПА-128) кристаллы.

КЛАССИФИКАЦИЯ АЛМАЗОВ ПО ИЗОТОПНОМУ СОСТАВУ

На рис. 3 приведена сводная гистограмма, охватывающая все известные авторам определения изотопного состава углерода природных алмазов.

Рассмотрение этой гистограммы показало, что широкий диапазон вариаций изотопного состава алмазов является фактором, о котором теперь (когда имеется достаточная статистика определений) можно говорить не как о некотором исключении, а как о факте, присущем собственно геохимии алмаза.

Весь диапазон вариаций изотопного состава алмазов можно разделить на четыре поддиагона: 1) $\delta^{13}\text{C} > -10\%$ (группа изотопически «тяжелых» алмазов или алмазов нормального изотопного состава, которую мы в дальнейшем будем называть группой Л); 2) $\delta^{13}\text{C}$ от -10 до -20% (алмазы промежуточного изотопного состава, группа В); 3) $\delta^{13}\text{C}$

* Для некоторых алмазов Урала и Саян с необычно легким соотношением $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ были выполнены контрольные определения (анализы других частей тех же кристаллов), которые показали хорошую сходимость с первоначальными результатами анализа (см. № ПА-128, ПА-183, Ш-36, Ш-95 в таблице).

Изотопный состав углерода алмазов, карбонадо и графита

№ кристаллов и проб	Характеристика алмазов, карбонадо и графита		
	форма	цвет	$\delta^{13}C$, ‰
<i>Уральские алмазы</i>			
ПА-122	Октаэдронд + додекаэдронд	Слабо-дымчатый	-7,0
ПА-128	Додекаэдронд	Золотисто-желтый	-24,3; -24,8*
ПА-176	»	Бесцветный	-7,6
ПА-181	»	Слабый золотисто-желтый	-6,4
ПА-182	Октаэдронд + додекаэдронд (обломок)	Бесцветный	-8,7
ПА-183	Сложнодеформированный комбинационный кристалл неясного габитуса	»	-15,3; -15,0
ПА-190	Октаэдр + додекаэдронд	»	-7,3
<i>Тиманский алмаз</i>			
	Обломок сложнодеформированного кристалла неясного габитуса	Серо-зеленый	-7,6
<i>Саянские алмазы</i>			
Ш-34	Додекаэдронд (?)	Серовато-зеленый	-9,8
Ш-36	Двойник из пяти комбинационных кристаллов (октаэдр—додекаэдрондов)	Бесцветный	-14,0; -14,6
Ш-48	Обломок кристалла неясного габитуса	Желтоватый	-12,3
Ш-49	Октаэдр + додекаэдронд (?)	Бесцветный	-6,6
Ш-51	Шпинелевый двойник из трех додекаэдрондов	Бесцветный	-9,1
Ш-76	Октаэдр + ромбододекаэдр	Дымчатый с желтым оттенком	-6,9
Ш-88	Обломок додекаэдронда (?)	Слабый серо-зеленоватый	-7,1
Ш-91	То же	Дымчатый	-4,5
Ш-95	Октаэдронд	Бесцветный	-12,8; -12,4
Ш-256	Октаэдронд + додекаэдронд	Розовый	-5,3
<i>Украинские алмазы</i>			
У-1	Бесформенные осколки	Бесцветный	-13,7
У-2	Кубы и их обломки	Желтый	-21,6
	То же	Фиолетовый	-20,5
	»	Черный	-17,3
У-3	Сланцеватые зерна	Желтый	-20,1
	То же	Черный	-15,8
<i>Космогенные алмазы и графит</i>			
	Алмазы	Желтый	-13,5
	Графит	Черный	-14,3
<i>Бразильские карбонадо</i>			
236	Обломок неправильной формы	Темно-серый	-29,2
239	То же	Черный	-30,6

* Анализировались различные части кристалла.

от -20 до -25‰ (изотопически «легкие» алмазы, группа С) и 4) $\delta^{13}C < -25‰$ (аномально-«легкие» алмазы, группа D).

Такое подразделение является в значительной мере условным, однако для него имеются определенные основания. Во-первых, наблюдается, хотя и не очень ясно выраженное, группирование измеренных величин $\delta^{13}C$ алмазов вокруг величин, отвечающих средним значениям, $\delta^{13}C$ этих поддиапазонов, а именно: $\delta^{13}C = -7‰$ для группы А; $\delta^{13}C = -15‰$ для

групп *B*; $\delta^{13}\text{C} = -22\text{‰}$ для группы *C* и $\delta^{13}\text{C} = -29\text{‰}$ для группы *D*. Во-вторых, этим поддиапазонам соответствуют области вариаций значений $\delta^{13}\text{C}$, характерные для некоторых важных классов природных соединений углерода.

Диапазон, к которому относится группа *A* алмазов, характерен для подвижных форм ювенильного углерода: вулканической углекислоты, метана во включениях изверженных пород, карбонатитов, предполагаемой углестохондритовой составляющей углерода мантии, т. е. тех форм, которые относятся к первой, линии эволюции углерода мантии [4].

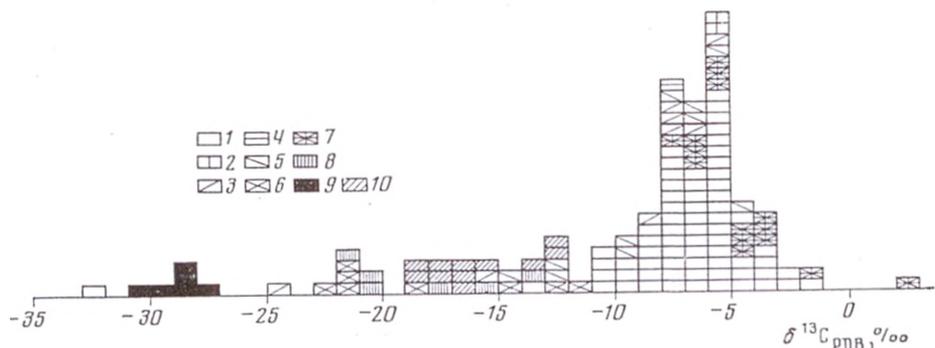


Рис. 3. Изотопный состав алмазов и карбонадо

1 — алмазы из кимберлитов Сибири, Африки, Северной Америки; 2 — алмазы из метеоритов. Россыпные алмазы; 3 — Урала; 4 — Тимана; 5 — Саян; 6 — Эбеляха; 7 — Африки, Америки, Австралии; 8 — Украины; 9 — бразильские карбонадо; 10 — космогенные алмазы

Диапазон, к которому относится группа *B* алмазов, является промежуточным между тем интервалом значений, которые типичны для эндогенного CO_2 (Л), и диапазоном, к которому относится восстановленные формы как эндогенного, так и осадочного углерода (С). Подобный изотопный состав имеют некоторые графиты, в особенности в богатых карбонатами метаморфизованных осадочных породах, а также углекислота, присутствующая в поровом пространстве осадочного разреза.

Диапазон, к которому относится группа *C* алмазов, характерен для рассеянного углерода изверженных пород, в том числе основных и ультраосновных пород, т. е. углерода, относящегося ко второй линии эволюции углерода мантии [4], а также для органического вещества осадочных пород.

Наконец, диапазон, к которому относится группа *D* алмазов, типичен для восстановленных форм биогенного углерода: битумоидов, углеводородов нефти и газа.

Было бы преждевременно усматривать генетическую связь выделенных групп алмазов с перечисленными выше формами углерода, относящимися к соответствующим диапазонам значений $\delta^{13}\text{C}$, тем более что области распространенности величин $\delta^{13}\text{C}$ (характеризующих различные формы углерода) перекрываются, а к выделенным диапазонам $\delta^{13}\text{C}$ можно отнести (помимо перечисленных) и другие формы нахождения углерода в природе.

С другой стороны, возможность соответствующих генетических связей не кажется неправдоподобной и может быть рассмотрена как подлежащая дальнейшей проверке рабочая гипотеза.

Анализ имеющихся данных показывает, что ни одна из выделенных по изотопному составу групп не характеризуется какой-либо ей одной присущей совокупностью признаков, характеризующей алмазы. Однако ряд наблюдений оказывается интересным. Географическая принадлежность алмазов, по-видимому, не играет существенной роли для отнесения их к той или иной группе изотопного состава. Алмазы, относящиеся

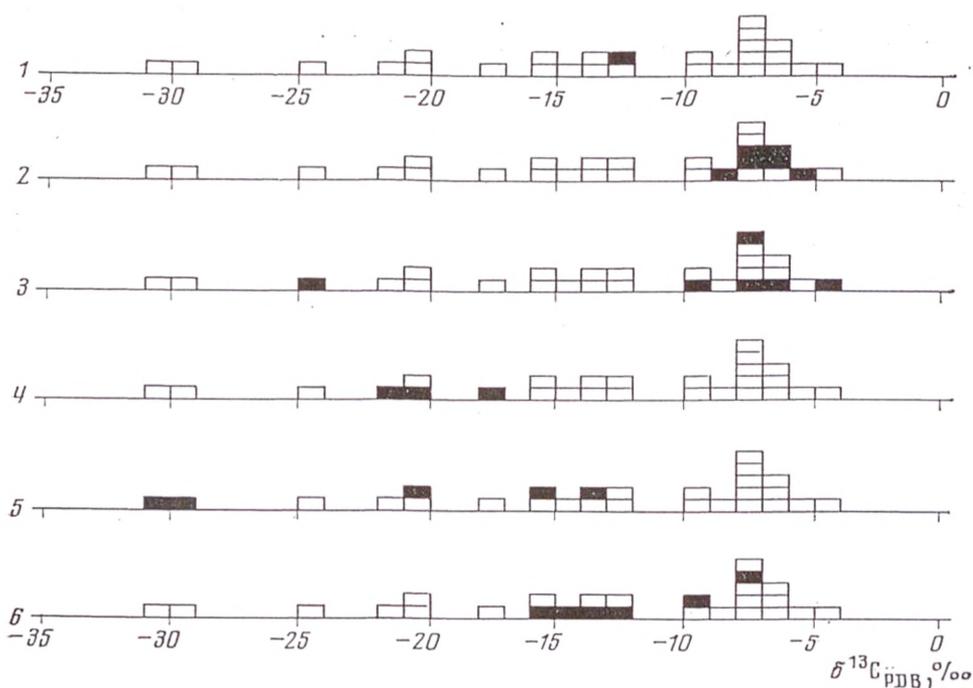


Рис. 4. Гистограмма изотопных составов исследованных россыпных алмазов Урала, Тимана, Саян, Бразилии, Украины

1 — октаэдройд; 2 — комбинационные формы: октаэдр + ромбодекаэдр, октаэдр + додекаэдройд, октаэдройд+додекаэдройд; 3 — додекаэдройды; 4 — кубы; 5 — поликристаллы; 6 — двойники и кристаллы неопределенного габитуса

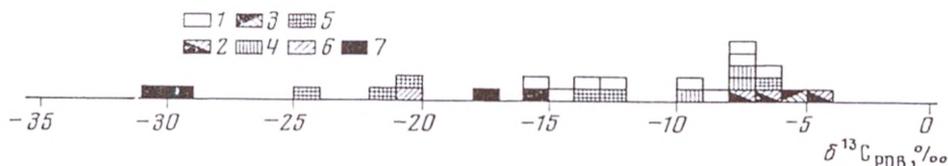


Рис. 5. Гистограмма изотопных составов исследованных россыпных алмазов Урала, Тимана, Саян, Бразилии, Украины

1 — бесцветный; 2 — дымчатый; 3 — розовый; 4 — серо-зеленый; 5 — желтый; 6 — фиолетовый; 7 — темно-серый и черный

к одному и тому же геологическому региону, могут принадлежать к различным группам. Так среди уральских алмазов пять образцов относятся к группе *A* и по одному к группам *B* и *C*. Из 10 алмазов саянских россыпей семь относятся к группе *A* и три — к группе *B*. С другой стороны, почти все алмазы из кимберлитов как Сибири, так и Африки попадают в группу *A*.

Форма алмазов не обнаруживает тесной связи с изотопным составом. Однако можно заметить, что алмазы октаэдрическо-додекаэдрического габитуса преимущественно изотопически тяжелые (*A*), в то время как все исследованные поликристаллические сростки относятся к категориям изотопически легких алмазов: группы *B*, *C* и *D* (рис. 4).

Окрашенные алмазы встречаются во всех выделенных группах. Однако подавляющее большинство бесцветных алмазов относится к группе *A*. В этой работе впервые установлено несколько обогащенных легким изотопом алмазов, которые по принятому здесь подразделению попадают в группу *B*. Алмазы, относящиеся к группам *C* и *D*, представлены исключительно окрашенными разновидностями (рис. 5). Группа *D*, за одним исключением, образована бразильскими карбонадо.

Обращает на себя внимание следующее распределение изотопных составов углерода, выявившееся особенно отчетливо в результате проведенного нами исследования: почти все алмазы из кимберлитовых трубок относятся к группе *A*, в то время как группы *B*, *C* и *D*, за единичными исключениями, образованы алмазами россыпных месторождений. Это позволяет высказать предположение, что изотопически тяжелые алмазы группы *A* образовались в процессе, связанном с формированием кимберлитовых трубок. По изотопному составу они тяготеют к глубинному углероду.

Что касается алмазов групп *B*, *C* и *D*, то, возможно, их присутствие в россыпных месторождениях отражает существование источников алмазов, отличных от типичных кимберлитовых трубок.

ПОЛОЖЕНИЕ АЛМАЗОВ ИЗУЧЕННЫХ РЕГИОНОВ (В ПРЕДЛАГАЕМОЙ КЛАССИФИКАЦИИ)

Уральские алмазы. Изучены кристаллы алмаза из отработанных в 1940—1950 гг. аллювиальных россыпей Койво-Вижайского района Среднего Урала. В этих россыпях резко преобладают бесцветные додекаэдриды алмазов, тогда как октаэдрические кристаллы составляют лишь небольшую долю. Анализированные алмазы относятся к наиболее представительному классу по крупности. Ранее предполагалась возможность их связи с ультрабазитами [14].

Из семи исследованных уральских алмазов пять являются типичными представителями группы *A*. При этом они имеют весьма сходный изотопный состав ($-6,4$; $-7,0$; $-7,6$ и $-8,7\%$).

В то же время для двух образцов уральских алмазов установлен изотопный состав, заставивший отнести их к категории *B* ($-15,3\%$) и *C* ($-24,3\%$). Таким образом, по крайней мере часть уральских россыпных алмазов, очевидно, генетически не связана с кимберлитовыми трубками. Дополнительным указанием на такую возможность является специфическая ассоциация минералов, включенных в уральские алмазы [15].

Тиманский алмаз. Исследованный алмаз был найден в 1969 г. в аллювии одной из рек западной части Обдырского поднятия [16]. По изотопному составу ($\delta^{13}\text{C} = -7,6\%$) он является типичным представителем группы *A*. При этом близость к алмазам группы *A* Урала дает основание предположить однотипность коренных источников алмазов этих регионов. В соответствии с генетической интерпретацией предложенной здесь классификации тиманский алмаз, следовательно, должен быть отнесен к алмазам кимберлитового происхождения.

Кимберлиты на Тимане, как и на Урале, до сих пор не найдены. Наличие минералов — спутников алмаза по кимберлитам (пиропов, высокохромистых хромшпинелидов) — в аллювии рек Тимана принципиально может рассматриваться как указание на возможность наличия здесь кимберлитов [17]. Однако единичность анализа и разноречивость поисковых признаков не дают оснований для окончательных заключений.

Саянские алмазы. Анализу были подвергнуты алмазы, обнаруженные в процессе поисковых работ ЦНИГРИ в 1954—1955 гг. в аллювии рек Уды (Чуны), Бирюсы и их притоков в Присаянье. Детальная характеристика геологических условий их нахождения и сведения о минералогической ассоциации имеются в работе [18].

Изотопная характеристика саянских алмазов напоминает характеристику уральских россыпных алмазов. Из 10 исследованных кристаллов семь относятся к группе *A*. Однако дисперсия значений $\delta^{13}\text{C}$ алмазов, относящихся к этой группе (от $-4,5$ до $-9,8\%$), выше, чем для уральских. Остальные три кристалла относятся к группе *B* и имеют близкий изотопный состав ($-12,9$; $-14,0$; $-14,5\%$). Очевидно, так же, как и для

уральских алмазов, для алмазов саянских россыпей характерна гетерогенность источников.

Украинские алмазы. Исследовались алмазы из коллекции Ю. А. Полканова, месторождение и описание которых дано в работе [19]. По изотопному составу все эти алмазы попадают в группы *Ви* и *С*. Полученные данные не противоречат высказанной украинскими геологами точке зрения об их ударно-метаморфическом происхождении [20].

Космогенные алмазы. Исследовались кристаллы, аналогичные описанным и исследованным С. А. Вишневым с соавторами [21]. Алмазы по изотопному составу попадают в группу *B* ($\delta^{13}\text{C} = -13,5\%$). Помимо алмазов анализу был подвергнут графит исследуемого участка. Изотопный состав графита в пределах возможных локальных вариаций совпадает с изотопным составом алмазов ($\delta^{13}\text{C} = -14,3\%$) - Как видно из описания, последние имеют примесь лонсдейлитовой фазы. Это наряду с изотопными данными служит аргументом в пользу ударного генезиса исследованных алмазов.

Бразильские карбонадо. Образцы карбонадо взяты из коллекции ЦНИГРИ. Точное местонахождение их неизвестно. Они аномально обогащены легким изотопом. Наши данные практически повторяют результаты, полученные ранее А. П. Виноградовым с соавторами [6]. По изотопному составу углерода бразильские карбонадо отличаются от всех других исследованных алмазов и образуют, по существу, собственную изолированную группу *D*. В соответствии с генетической интерпретацией нашей классификации они не могут быть отнесены к алмазам типичного кимберлитового генезиса. Существует, как известно, и ряд других признаков, указывающих на некимберлитовое происхождение карбонадо [22].

Авторы благодарят Ю. Л. Орлова за консультации при минералогическом описании алмазов, Ю. А. Полканова и В. П. Хвостову - за предоставление для анализа украинских и космогенных алмазов.

Поступила в редакцию
13 мая 1977 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крейг Г. В сб.: Изотопы в геологии. Изд-во иностр. лит., М., 1954.
2. *Wickham F. E.* Geochim. et cosmochim. acta, v. 9, № 3, 1956.
3. Виноградов А. П., Кротова О. И., Устинов В. И. Геохимия, № 6, 1965.
4. Галимов Э. М. Геохимия, № 5, 1967.
5. Галимов Э. М. Геохимия стабильных изотопов углерода. «Недра», М., 1968.
6. Виноградов А. П., Кротова О. И., Орлов Ю. Л., Гриненко В. А. Геохимия, № 12, 1966.
7. Ковальский В. В., Галимов Э. М., Прохоров В. С. Докл. АН СССР, т. 203, № 2, 1972.
8. Ковальский В. В., Черский И. В. Геология и геофизика, № 9, 1972.
9. Галимов Э. М. В сб.: Очерки современной геохимии и аналитической химии. «Наука», М., 1972.
10. Каминский Ф. В. В сб.: Закономерности размещения и прогнозирования алмазных месторождений. Изд. НИИ ГА, Л., 1973.
11. Каминский Ф. В., Прокончук Б. И. Природа, № 10, 1974.
12. Каминский Ф. В., Ваганов В. И. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 6, 1976.
13. Галимов Э. М. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 1, 1973.
14. Кухаренко А. А. Алмазы Урала. Госгеолтехиздат, М., 1955.
15. Соболев Н. В., Гневушев М. А., Михайловская Л. Н. и др. Докл. АН СССР, т. 198, № 1, 1971.
16. Башилов В. И., Каминский Ф. В., Шевченко И. А. В сб.: Геология, магматизм и металлогения Тмана. Тезисы докл. совещания. Изд. Ин-та геол. Коми филиала АН СССР, Сыктывкар — Ухта, 1973.
17. Алексеевский К. М., Губанов В. А., Николаева Т. Т., Тынтарева И. И. Докл. АН СССР, т. 231, № 3, 1976.
18. Дибров В. Е., Миронов И. К., Холь Ф. И., Андрианов В. Т. Геологическое строение и алмазоносность юго-западной части Сибирской платформы. Изд-во АН СССР, М., 1960.
19. Юрк Ю. Ю., Кашкаров И. Ф., Полканов Ю. А. и др. Алмазы песчаных отложений Украины. «Наукова думка», Киев, 1973.

20. Полканов Ю. О., Еременко Г. К., Сохор М. Докл. АН УРСР. Сер. Б, № 11, 1973.
21. Вишневский С. А., Доильницын Е. Ф., Долгов И. А., Перцева А. П. В сб.: Всес. симпозиум по геохимии стабильных изотопов. Тезисы докладов, ч. 2. Изд. ГЕОХИ АН СССР, М., 1974.
22. Францессон Е. В., Каминский Ф. В. Докл. АН СССР, т. 219, № 1, 1974.

STUDY OF ISOTOPE COMPOSITION OF CARBON OF DIAMONDS
OF THE URAL, TIMAN, SAYANY, UKRAINE AND ANOTHER REGIONS

E. M. GALIMOV, F. V. KAMINSKY, I. N. IVANOVSKAYA

*V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
USSR Academy of Sciences, Central Scientific-Research Institute
of Non-Ferrous and Noble Metals*

The results of carbon isotopic analyses of diamonds from placers of the Ural, Timan, Sayany, Ukraine, Brazilian carbonados and cosmic diamonds are given. The range of δC^{13} values is very broad: from $-4,5$ up to $-30,6\text{‰}$. As a result of analysis of data on carbon isotopy in diamonds the range of isotopic compositions could be subdivided into four groups which are related with the fields of variation of isotopy of some classes of natural carbon compounds. The position of studied diamonds within the suggested classification is considered.
