

УДК 349.21:551.254

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАФИТОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОЗМОЖНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВЫСОКОБАРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗОВ. КУБИЧЕСКИЙ ГРАФИТ

© 2002 г. Т. Г. Шумилова, Г. Н. Каблис, Е. В. Пушкарев

Представлено академиком Н.П. Юшкиным 15.03.2002 г.

Поступило 26.03.2002 г.

При прогнозной оценке алмазоносности территорий учитываются, как правило, только источники кимберлитового, лампроитового или импактного типов. Возможности образования алмазов в альтернативных условиях затрагиваются редко. Тем не менее известные, хотя и достаточно редкие достоверные находки алмазов в принципиально иных геологических условиях (например, в связи с метаморфическими породами) могут представлять существенный не только научный, но и практический интерес [1, 2].

Наиболее ярким примером альтернативных источников может служить Кумдыкольское месторождение алмазов в метаморфических породах, отличающееся высочайшими содержаниями и огромными запасами алмазов. Существенной проблемой выявления подобных алмазоносных объектов является неприемлемость традиционных и отсутствие новых поисковых критериев. Нами был предложен нетрадиционный подход, в основу которого положены типоморфные свойства графита, сопутствующего алмазам кумдыкольского типа [5–7].

В качестве объектов, изучаемых нами на предмет потенциальной алмазоносности, в данной работе рассматриваются лапландские графитосодержащие гранулиты (Кольский полуостров), углеродсодержащие кварциты и сланцы Неркаюского метаморфического комплекса (Приполярный Урал) и углеродсодержащие сланцы, подстилающие Хабаровинский офиолитовый массив (Южный Урал).

Метаморфические породы в этих объектах претерпели воздействие высоких давлений, кото-

рые привели к морфологическим, структурным и фазовым преобразованиям углеродистого вещества и образованию графитовой минерализации с характерными типоморфными особенностями, отдельные из которых могут рассматриваться как свойственные графиту алмазной ассоциации.

Одной из таких особенностей является наличие форм течения графита в виде изогнутых частиц, выжимок различного размера с поперечным диаметром от нескольких микрометров до нескольких сантиметров, в ряде случаев проволоковидных и с характерным псевдоволокнистым строением (рис. 1, 2). Деформированные зерна проявляют в отраженном свете волнистое погасание вкрест удлинения и перпендикулярно касательной в точке изгиба. В отдельных случаях были выявлены образования ежевидной формы, которые свидетельствуют о микролокальных тепловых взрывах с выделением газовой фазы.

Проведение рентгеноструктурных исследований методами монокристалльной съемки и Дебая–Шеррера позволили выявить следующую тенденцию – для высоких уровней метаморфизма при увеличении степени метаморфизма пород графит проявляет тенденцию к существенному изменению (и уменьшению, и увеличению) базального межплоскостного расстояния (002), появлению дополнительных углеродных фаз. В связи с этим мы обращаем внимание на ряд важных фактов.

В графитах из лапландских пород амфиболитовой–гранулитовой фации метаморфизма, несмотря на крупные видимые явнокристаллические графитовые выделения (с размерами частиц до нескольких миллиметров), наблюдается их поликристаллическое строение с размерами кристаллитов около 10 мкм; уменьшение базального расстояния до 0,331 нм и его увеличение до 0,343 нм; а также наблюдается разворот графитовых монокристаллических блоков на угол до 25°. Эти рентгеноструктурные данные могут свидетельствовать о частичном плавлении графита в ходе метаморфических изменений. Кроме того, в графите этих же пород обнаружены кубический

*Институт геологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской Академии наук,
Сыктывкар*

*Институт геологии и геохимии
им. акад. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург*

графит (имеется в виду не морфологическая, а структурная разновидность графита), лонсдейлит, карбиноподобный углерод.

В зоне будинированных углеродсодержащих пород Неркаюского комплекса и в породах, подстилающих Хабаровинский массив, обнаружены признаки присутствия карбиноподобной формы углерода и слабая упорядоченность графита.

Графиты лапландских гранулитов, в которых обнаружены карбиноподобные фазы (чаоит), лонсдейлит и кубический графит, были подвергнуты наиболее тщательному рентгенофазовому исследованию с применением методов Лауэ и Дебая–Шеррера. Съемка лауэграмм проводилась на стандартной камере РК ОП с расстоянием кристалл–фотопленка 31 мм. Ориентировка образцов производилась так, что падающий рентгеновский луч был перпендикулярен базальной плоскости образца. Дебаграммы снимались в стандартной камере РКД-57,2. Источником рентгеновского излучения в обоих случаях служила трубка БСВ-22 с железным анодом.

При монокристалльной съемке было выяснено, что на лауэграммах образцов присутствуют кольца Дебая, характерные для чаоита. Данные кольца являются цельными и относительно однородными, что свидетельствует о присутствии большого количества разориентированных кристаллитов размером порядка 10 мкм. Общий характер лауэграмм свидетельствует о возможной преимущественной ориентировке кристаллитов чаоита и ее слабом проявлении, что выражается соответственно наличием четких широких пересечений лемнискат с кольцами Дебая либо только отдельных точек пересечения. Расположение рефлексов на рентгенограммах отвечает вероятному развороту кристаллитов друг относительно друга на угол около 10° в направлении 001.

В образце с кубическим графитом (обр. Л-2, табл. 1) имеются рефлексы гексагонального графита, алмаза и чаоита. Преимущественная ориентировка кристаллитов чаоита проявляется слабо, хотя отдельные точки пересечения лемнискат с кольцами Дебая наблюдаются. Гексагональный графит на лауэграмме фиксируется в виде дебаевских колец, что также свидетельствует о поликристаллическом строении гексагональной графитовой компоненты. Следует особо отметить, что на лауэграмме наблюдается ось третьего порядка, причем соответствующие точечные рефлексы образуют пары, характерные α - и β -отражения железа от плоскостей с межплоскостным расстоянием $d = 0.242 \pm 0.005$ нм. В сочетании с теми фактами, что по результатам КР-спектроскопии данный образец представлен углеродом с sp^2 -гибридизацией, и тем, что рефлексы образуют ось третьего порядка (рис. 3), такое межплоскостное расстояние может свидетельствовать о

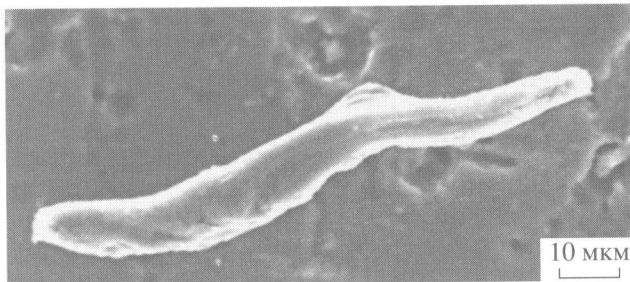


Рис. 1. Проволоковидное выделение графита. Южный Урал.

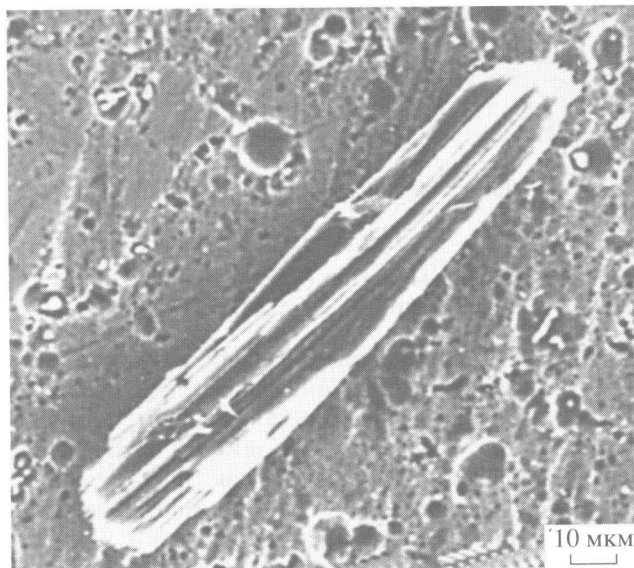


Рис. 2. Зерно графита с псевдоволокнистым строением. Южный Урал.

присутствию кубического графита (табличная величина $d_{210} = 0.2467$ нм [4]).

Для более точного определения кристаллических фаз, входящих в состав образца с кубическим графитом, была отснята его дебаграмма. На полученной дебаграмме были диагностированы линии графита, алмаза и 2 линии, соответствующие кубическому графиту: $d_{220} = 0.196 \pm 0.002$ и $d_{321} = 0.149 \pm 0.001$ (табл. 1). Эталонные межплоскостные расстояния соответственно: $d_{220} = 0.1961$ и $d_{321} = 0.1485$ [4]. Съемка проводилась без растирания образца в порошок с целью сохранения его для дальнейших исследований, что могло привести к тому, что не все линии кубического графита проявились на дебаграмме.

На основе изложенного выше можно сказать, что в графитоподобном поликристаллическом обр. Л-2 присутствует кристаллическая фаза кубического графита. Кроме того, обращает на себя внимание то, что величина базального расстояния гексагонального графита 002 в данном об-

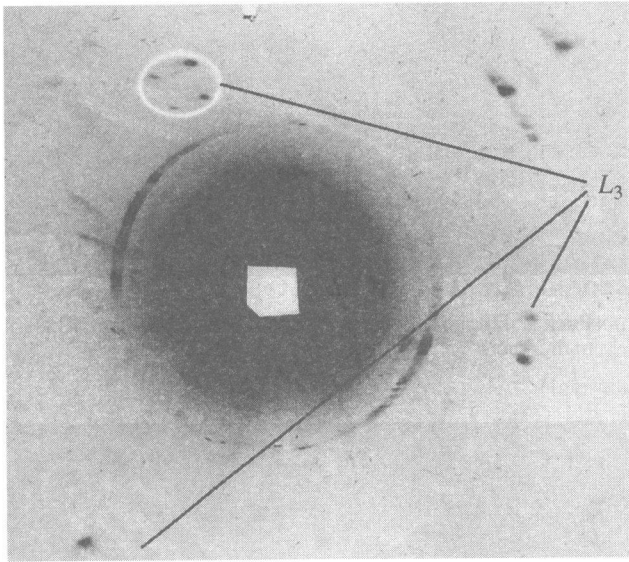


Рис. 3. Лауэграмма обр. Л-2 с кубическим графитом.

разце заметно меньше (0.331 ± 0.005 нм), чем табличная величина (0.3352 ± 0.338 нм [4]).

В ряде образцов методом Дебая–Шеррера была установлена лонсдейлитовая фаза (табл. 2). Интерпретация лонсдейлита, находящегося в совокупности с другими углеродными фазами, всегда вызывает сложности, так как многие рефлексы могут принадлежать одновременно нескольким модификациям углерода. Однако в нашем случае лонсдейлит диагностируется довольно уверенно, так как помимо собственной линии 0.216 нм (не перекрывающейся с другими фаза-

ми) на дебаграммах присутствуют линии, характерные для алмазной и лонсдейлитовой компонент, разрешившиеся от близко расположенных графитовых рефлексов, либо в ряде случаев наложившиеся с существенным увеличением суммарной интенсивности и ширины рефлексов.

Образцы, которые в силу своей дисперсности не могли быть отделены от породообразующей массы и оказались недоступными для проведения рентгеноструктурных исследований с целью определения структурной принадлежности углеродного вещества, были изучены методами низкоэнергетической электронной спектроскопии. Совокупные данные рентгеновской фотоэлектронной и ожэ-спектроскопии показали, что углеродное вещество метаморфических пород Неркаюского комплекса и сланцев, подстилающих Хабаровинский офиолитовый массив, имеет сложный структурный состав и представляет собой тесную совокупность нескольких углеродных фаз, имеющих разную степень гибридизации атома углерода.

В частности, неркаюское углеродное вещество представляет собой смесь углерода с sp , sp^2 , sp^3 -гибридизацией с преобладанием в разных геологических обстановках либо sp^2 -, либо sp -углерода. Хабаровинское углеродное вещество характеризуется преобладанием sp^2 -компоненты и присутствием sp^3 -углерода.

Таким образом, получены минералогические свидетельства, указывающие на проявление процессов течения графита с его частичным плавлением в интенсивно метаморфизованных породах. Ранее теоретическими и экспериментальными

Таблица 1. Данные дебаграмм графита с кубической компонентой

Образец Л-2			Табличные данные кубического графита [4]	
<i>I</i>	<i>d</i> , нм	интерпретация	<i>I</i>	<i>d</i> , нм
10	0.331	Графит гексагональный	Слабая	0.3208
1	0.253	Графит кубический	Средняя	0.2770
8	0.221	Чаоит?	То же	0.2467
8	0.211	Графит гексагональный	Слабая	0.1961
10	0.201	Графит гексагональный (+алмаз?)	То же	0.1844
1	0.1955	Графит кубический	»	0.1600
3	0.1781	Графит гексагональный	»	0.1485
3	0.1657	То же		
10	0.1530	»		
1	0.1488	Графит кубический		
1	0.1348	Чаоит		
6	0.1267	Алмаз		
6	0.1225	Графит гексагональный		
10	0.1150	То же		

Таблица 2. Данные дебаеграмм графита из гранулитов

Образец Л-3			Образец Л-1/2		
<i>I</i>	<i>d</i> , нм	интерпретация	<i>I</i>	<i>d</i> , нм	интерпретация
10	0.340	Графит ромбический	10	0.331	Графит гексагональный
4	0.216	Лонсдейлит	2	0.216	Лонсдейлит
2	0.210	Графит ромбоэдрический	6	0.202	Графит гексагональный (+лонсдейлит?)
10	0.206	Лонсдейлит	3	0.1798	Графит гексагональный
2	0.988	Графит ромбоэдрический	6	0.1668	То же
6	0.1815	Графит гексагональный	4	0.1538	»
8	0.1691	Графит ромбоэдрический	2	0.1273	Лонсдейлит
5	0.1556	Графит гексагональный	8	0.1228	Графит гексагональный
4	0.1367	Чаоит	9	0.1154	То же
2	0.1324	β-карбин	1	0.1118	»
5	0.1282	Лонсдейлит	7	0.09941	»
10	0.1239	Графит гексагональный			
10	0.1162	Графит ромбоэдрический			
2	0.1142	Графит гексагональный			
5	0.1123	Графит ромбоэдрический			
3	0.1102	Графит гексагональный			
3	0.1057	Лонсдейлит			
10	0.0994	Графит гексагональный			

исследованиями было показано, что в подобных условиях в результате местных тепловых взрывов в графите могут создаваться давления до 60 кбар и образовываться нанодисперсные алмазоподобные обособления [3]. Находка кубического графита подтверждает реальную возможность возникновения локальных сверхвысоких давлений в графите гранулитов до 80 кбар [4].

Обнаружение в составе исследованных образцов sp^3 -углерода является прямым признаком присутствия в данных геологических объектах углерода алмазного типа.

Таким образом, 1) впервые в природных условиях обнаружен графит кубической модификации; 2) прямые и косвенные минералогические признаки свидетельствуют о том, что исследованные объекты могут представлять интерес для выявления алмазов; 3) наиболее приемлемыми способами диагностики тонкодисперсных фаз алмазного типа являются низкоэнергетические спектроскопические методы определения типа гибридизации углерода.

Авторы выражают благодарность Л.М. Лялиной за предоставленные образцы, а также В.Л. Кузнецову и Л.А. Михалицину за выполнение спектроскопических исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комиссии РАН по работе с молодежью, грант

№ 347 6-го конкурса-экспертизы, ФЦП "Интеграция".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Екимова Т.Е., Лаврова Л.А., Надеждина Е.Д. и др. Коренная и россыпная алмазность Северного Казахстана. М.: ЦНИГРИ, 1992. 168 с.
2. Лаврова Л.А., Печников В.А., Плеваков А.М. и др. Новый генетический тип алмазных месторождений. М.: Научный мир, 1999. 228 с.
3. Новгородова М.И., Рассказов А.В. // ДАН. 1992. Т. 322. № 2. С. 379–381.
4. Федосеев Д.В., Новиков Н.В., Вишневский А.С. и др. Алмаз: Справочник. Киев: Наук. думка, 1981. 77 с.
5. Шумилова Т.Г. Критерии алмазности кумдыкольского типа // Прогнозирование и поиски коренных алмазных месторождений: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 21–23 сент. 1999 г., Симферополь; Судак: Издат. центр "Крым-Фарм-Трейддинг", 1999. С. 163–165.
6. Шумилова Т.Г. Минералогия скелетных алмазов из метаморфических пород. Сыктывкар: Геопринт, 1996. 49 с.
7. Шумилова Т.Г. Способ поисков алмазов некимберлитового типа. Пат. РФ № 2087012 // Бюл. изобр. 1997. № 22.