

## КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ АЛМАЗА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С КАРБОНАТНО-СИЛИКАТНЫМИ РАСПЛАВАМИ АЛМАЗОНОСНЫХ ПОРОД КОКЧЕТАВСКОГО МАССИВА (P=5.5-7.5 ГПа)

Спивак А.В., Литвин Ю.А., Матвеев Ю.А. \*

Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка Московской обл.

\*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет

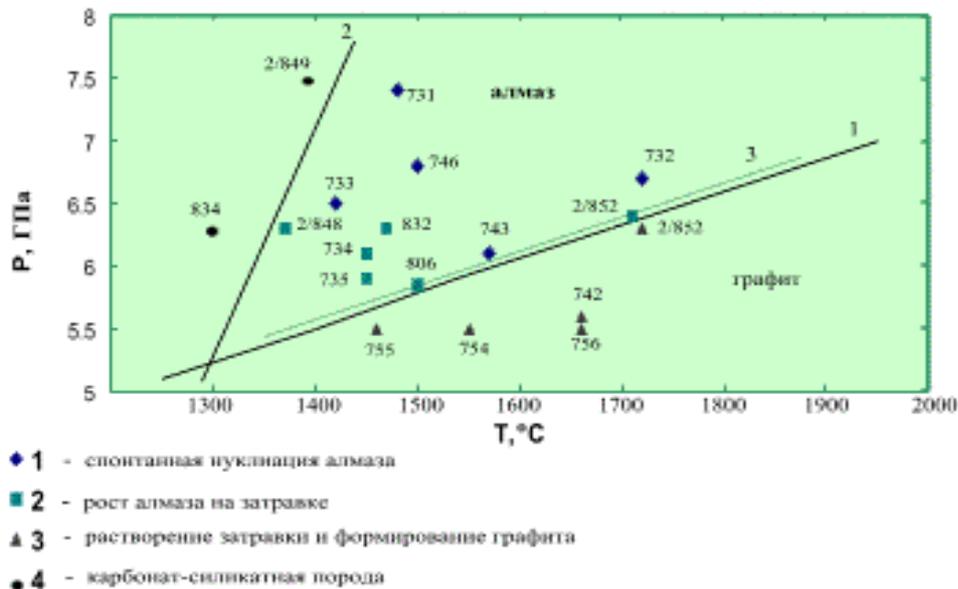
Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 02-05-06271 и 02-05-64684)

**Вестник Отделения наук о Земле РАН, № 1(20)2002**

URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2002/informbul-1.htm#faza-10](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/informbul-1.htm#faza-10)

Раскрытие физико-химического способа формирования алмазов геодинамически сложных метаморфических комплексов (Кокчетав, Казахстан [1,3]; Даби Шан, Китай[2,3]), - как примеров «некимберлитовой» алмазности, - является одной из основных задач генетической и экспериментальной минералогии алмаза. Выполнено экспериментальное моделирование генезиса алмазов метаморфических комплексов (Кокчетав, Казахстан; Дабешань, Китай). В экспериментах при высоких давлениях использована карбонат – силикатная доломит – гранат – клинопироксеновая порода из месторождения Кумды-Коль, Кокчетав. Этот тип пород отличается экстремальными содержаниями алмазов (2000 карат на тонну).

Целью проводимых экспериментальных исследований является осуществление кристаллизации алмаза в расплавах алмазносных карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива при высоких давлениях, изучение физико-химических особенностей алмазообразования в условиях эксперимента, а также превращений самой карбонатно-силикатной среды при параметрах стабильности алмаза на фазовой диаграмме углерода.



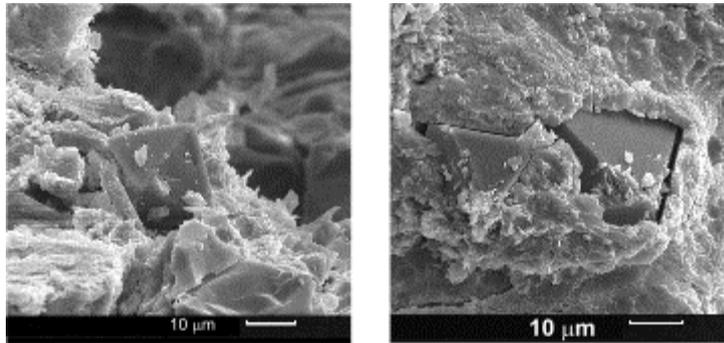
**Рис. 1.** P-T диаграмма кристаллизации алмаза в расплавах карбонатно-силикатной породы Кокчетавского массива. 1 – граница равновесия графит – алмаз (Kennedy C.S. & Kennedy G.C., 1976); 2- температура эвтектического плавления карбонатно – силикатно – графитовой стартовой смеси в зависимости от давления; ОЛР – область лабильных растворов (спонтанная нуклеация алмаза); ОМП - область метастабильных пересыщений (рост алмаза на затравке); 3 – граница ОЛР/ОМП (нижняя по давлению граница спонтанной нуклеации алмаза). Рядом с экспериментальными точками – номера образцов.

Синтез алмазов при давлениях 5.5 – 7,5 ГПа осуществлен в расплавах доломит – гранат – клинопироксеновой породы из Кумды-Коль, пересыщенных углеродом графита из стартовой смеси. Стартовая смесь, используемая в экспериментах, была приготовлена из порошка природной карбонат – силикатной породы (Кумды Коль, Кокчетавский массив), который был смешан с порошком графита. Опыты выполнялись в аппарате высокого давления типа

«наковальня с лункой» с ячейкой из литографского камня (Литвин, 1991). Точность измерения давления и температуры  $\pm 0.1$  ГПа,  $\pm 20^\circ\text{C}$  соответственно. Экспериментальные образцы изучались по поверхностям разломов (с напылением золотом) методом сканирующей электронной микроскопии, а также в виде полированных препаратов (с напылением углеродом) методом микрорентгеноспектрального анализа (электронный микроскоп CamScan с приставкой LinK AN10/855, кафедра петрологии МГУ, операторы Е.В.Гусева и Н.Н.Коротаева).

Изучение кристаллизации алмаза в расплавах карбонатно-силикатной породы Кокчетавского массива проводилось при давлениях 5.5 – 7.5 ГПа, температурах 1300 – 1800 $^\circ\text{C}$  и выдержках 1 – 40 мин.

При достижении температуры плавления смеси порошков карбонатно – силикатной породы и графита в первые 1 – 2 минуты выдержки происходила спонтанная нуклеация и множественная кристаллизация алмаза. Зародышеобразование и рост кристаллов алмаза при высоких давлениях и температурах (в поле термодинамической устойчивости алмаза) обеспечиваются следующими физико-химическими процессами. Графит растворяется в образовавшихся при частичном плавлении породы карбонатно-силикатных расплавах.

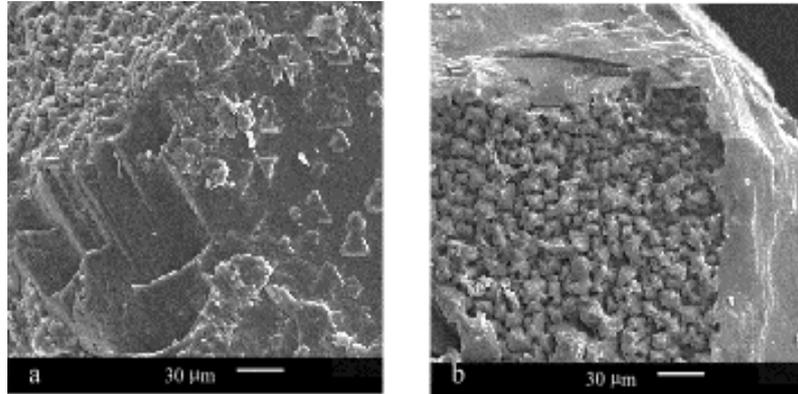


**Рис. 2.** Кристаллизация алмаза в расплавах карбонатно-силикатной породы из Кокчетавского массива

В результате создаются пересыщенные к алмазу растворы углерода в таких расплавах. В формировании таких растворов в РТ – условиях термодинамической устойчивости алмаза решающими являются вклады двух главных факторов – разницы растворимостей метастабильного графита и стабильного алмаза и термоградиентного температурного поля. РТ – условия кристаллизации алмаза в расплавах карбонатно-силикатной породы Кокчетавского массива представлены на рис. 1. Зона кристаллизации алмаза находится в угловом поле между границей равновесия графит – алмаз и линией эвтектического плавления исследуемой карбонат – силикатной породы в смеси с углеродом (метастабильным графитом) в зависимости от давления. Внутри этой зоны изображена кинетическая граница между областью лабильных растворов углерода в расплаве карбонат – силикатной породы (ОЛР) и областью метастабильных пересыщений (ОМП). ОЛР идентифицируется по фактам спонтанной нуклеации и кристаллизации алмазов. В ОМП происходит рост алмаза на затравке в отсутствие спонтанной кристаллизации. Граница равновесия графит – алмаз определялась по фактам частичного или полного растворения алмазных затравок при их перекристаллизации в графит в карбонат – силикатных расплавах вне области спонтанной кристаллизации.

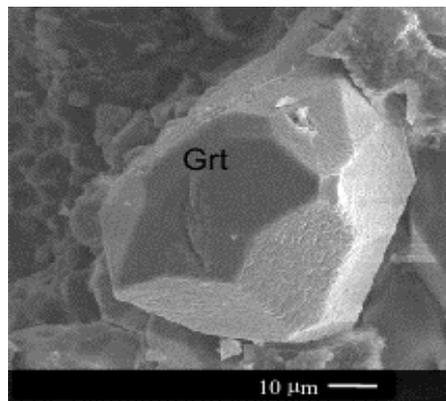
В условиях спонтанной кристаллизации формируются кристаллы алмаза октаэдрического габитуса с гладкими гранями (111), шпинелевые двойники, сrostки (рис. 2). Характерной особенностью роста слоев карбонат – синтетического алмаза на затравку является зарастание граней октаэдра (111) слоями с гладкими поверхностями («гладкогранный рост»), а граней куба (100) слоями тесно сросшихся полуоктаэдров («шероховатый рост») (рис. 3). Изменение составов в опытах с выдержками 10 – 30 минут неуловимы для граната и клинопироксена, эти фазы, вероятно, затронуты процессами плавления лишь по поверхностям при формировании карбонатно-силикатных расплавов, которые служат растворителями углерода в синтезах алмазов. Практически не изменяется и состав доломита, правда, в одном случае наблюдается повышение содержания  $\text{K}_2\text{O}$  до 1,71 мас.% (образец № 732). У гранатов, кристаллизовавшихся, подобно алмазам, из карбонатно-силикатного расплава (рис. 4), составы

существенно отличаются – содержание пиропового компонента заметно повышается, аgrossулярового и алмандинового – понижается. В клинопироксенах наблюдаются повышенные содержаниями глинозема, тогда как концентрации щелочных компонентов низки.



**Рис. 3.** Формы роста граней гладкогранных кубооктаэдрических монокристаллов алмазных затравок (использовались металл – синтетические алмазы): а) гладкий послойный рост граней октаэдра (111) (обр. 731); б) шероховатый «микропирамидальный» рост грани куба (100) (обр. 733).

Вполне возможно, что процессы природного алмазообразования в карбонатно-силикатных расплавах в условиях мантии осуществляются подобным же образом, как и в экспериментах, так как, судя по всему, химический состав ростовой среды и физические параметры кристаллизации алмаза совпадают. Поэтому можно говорить не только об экспериментальном моделировании генезиса алмазов метаморфических комплексов, а о воспроизведении природных процессов алмазообразования в высокобарном эксперименте в отношении их главных составляющих – химизма материнской среды, физико-химического механизма формирования алмаза, физических параметров.



**Рис. 4.** Гранат, кристаллизовавшийся из карбонатно-силикатного расплава.

Таким образом, в экспериментах при высоких давлениях впервые осуществлены процессы кристаллизации алмаза в расплавах карбонатно-силикатных алмазоносных пород Кокчетавского массива (Казахстан), пересыщенных растворенным углеродом. Показано, что эти расплавы представляют собой высокоэффективные алмазообразующие среды в условиях стабильности алмаза. Кристаллизация алмаза в карбонат – силикатных расплавах происходит с высокими скоростями (зерна до 100 микрон формируются в течение 1 – 2 минут) и сопровождается формированием сингенетических минералов – гранатов и клинопироксенов.