

12. Gibson, I. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. – N. Y. : Springer, 2015. – 498 p.
13. Нейман фон, Дж. Теория самовоспроизводящих автоматов / Дж. фон Нейман. – М. : Мир, 1971. – 342 с.
14. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в живом и машине / Н. Винер. – М. : Совет. радио, 1958. – 296 с.

УДК 621.762

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ  
ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ  
ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**П. А. Витязь<sup>1</sup>, М. Л. Хейфец<sup>2</sup>, В. Т. Сеньют<sup>1</sup>, В. П. Афанасьев<sup>3</sup>,  
Д. Ю. Колодяжный<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск*

<sup>2</sup>*Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск*

<sup>3</sup>*Институт геологии и минералогии имени академика В. С. Соболева СО РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация*

<sup>4</sup>*МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Российская Федерация*

Изучение минералов, обнаруженных в кратере Попигайского месторождения, показало присутствие в них разнообразных углеродных, в том числе и алмазоподобных, а также других переходных структур, сформированных в результате столкновения метеорита с гранитогнейсовыми породами с высоким содержанием графита.

Для изучения процессов образования структур целесообразно на основе кристаллохимических представлений по диаграммам состояния рассматривать связь степеней свободы физико-химической системы с формирующимися фазами, определять рациональное число и структуру взаимосвязей степеней свободы [1]. Рассматривать образование структур и фаз по диаграммам – геометрическим образам соотношений состав–свойство системы – позволяет физико-химический анализ сложных систем [2]. Основными принципами анализа физико-химических диаграмм являются предложенные Н. С. Курнаковым принципы непрерывности и соответствия [3]. Согласно принципу соответствия, на диаграмме каждой фазе должен отвечать определенный геометрический образ, а в соответствии с принципом непрерывности этот образ должен быть непрерывным.

Цель работы – определить по диаграмме состояния физико-химической системы при образовании углеродных, в том числе алмазоподобных структур положения линий, описывающих фазовые переходы, их количество, возрастающее в результате формирования промежуточных фаз и переходных структур.

Анализ быстропротекающих процессов образования разнообразных структур и фаз при высоких давлениях и температурах формирования природных алмазов для их идентификации потребовал изучения топологической модели диаграммы состояния углерода [4], а также возможных путей ее трансформации с учетом диссипации поглощаемой энергии.

Формирование новых связей на графе рассматривалось поэтапно, в соответствии со вторым принципом Н. С. Курнакова: соответствия топологической модели физико-химической системе. Степени свободы системы  $C = C_v + 1$  определялись через число связных кусков графа  $C_v$ . При этом следили за тем, чтобы добавление новых элементов (вершин, граней, ребер) не изменяло число степеней свободы.

Построение диаграммы состояния углерода (рис. 1), проводилось по топологи-

ческой модели, в соответствии с первым принципом Н. С. Курнакова: непрерывности свойств физико-химической системы в зависимости от температуры  $T$  и давления  $P$  с учетом поглощаемой при возрастающей скорости синтеза структур энергии  $E$ .

Трансформация топологической модели проводилась на принятой за основу фазовой диаграмме состояния углерода [4]. С учетом образования дополнительной фазы появляется вершина графа, а следовательно, соответствующая грань и два ребра, ее отделяющие. Так как образуется новая фаза, то кристаллизация фаз имеет разные варианты, которые происходят в общем случае не одновременно, поэтому за солидусом выделяются переходные зоны для различной последовательности выпадения твердых фаз из расплава. С учетом кинетики переходного процесса выделения фаз, сходного с перитектическим, на модели появляются три новые грани, четыре ребра и вершина.

В результате фазовая диаграмма состояния углерода в зависимости от температуры  $T$  и давления  $P$  с учетом поглощаемой энергии  $E$  (рис. 1) при возрастающей скорости синтеза структур имеет область, включающую импактные алмазы, а также переходные области выпадения из жидкости ультрадисперсных алмазов и микрогруппировок графита.

Зерна минералов и изображения их поверхностей показаны на рис. 2 [5]. Крупные, относительно прозрачные зерна минерала якутита (рис. 2, а, б) образованы в эпицентре кратера Попигайского месторождения при прямом ударе метеорита. Практически непрозрачные темные зерна минерала (рис. 2, в, г) образованы при ударе со сдвигом, в удалении от эпицентра, ближе к периферии кратера. В этих зернах помимо графита формируется лонсдейлит.

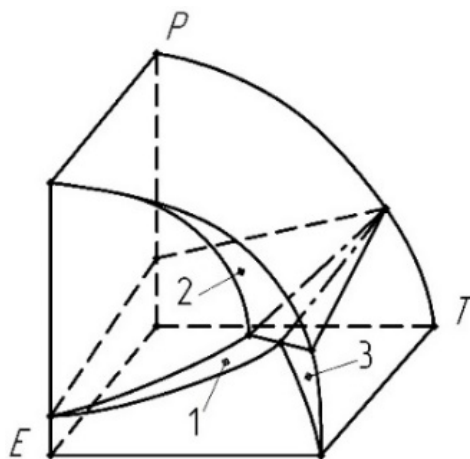


Рис. 1. Фазовая диаграмма состояния углерода в зависимости от температуры  $T$  и давления  $P$ , с учетом поглощаемой энергии  $E$ , при возрастающей скорости синтеза структур:

1 – область, включающая импактные алмазы с лонсдейлитом; 2 – область выпадения из жидкости ультрадисперсных алмазов; 3 – область выпадения микрогруппировок графита и лонсдейлита

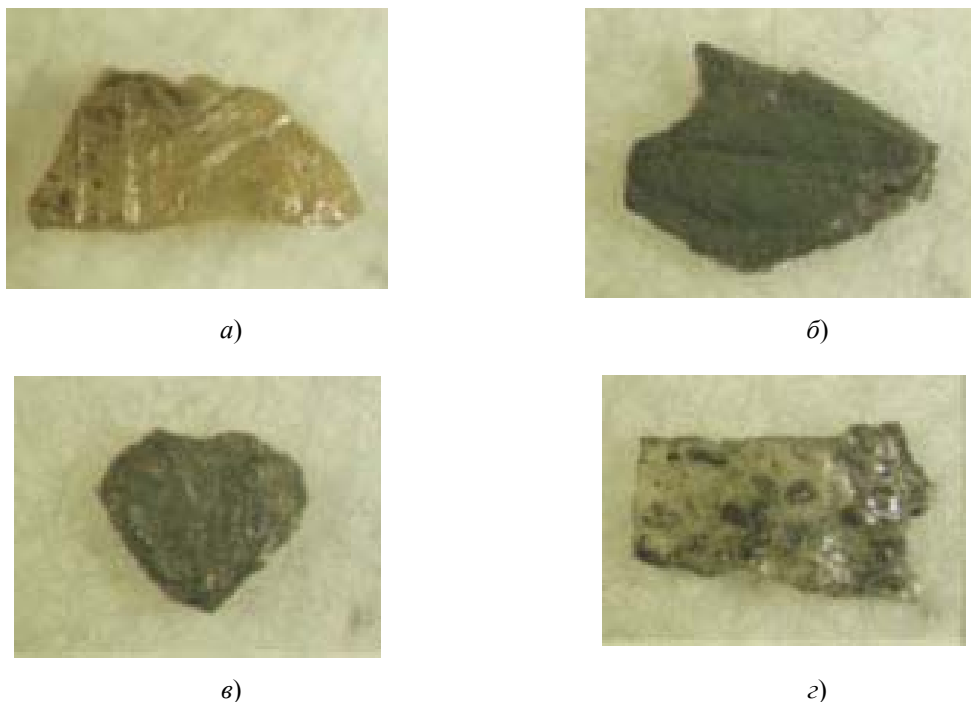


Рис. 2. Типичные формы крупных зерен импактных алмазов минералов якутита Попигайского месторождения [5], образованные в 1-й области (рис. 1 а, б), и во 2-й области (рис. 1 в, г). Содержание графитовой фазы в зернах минерала (а, в) ниже, чем в зернах (б, г)

Таким образом, анализ трансформации топологической модели позволил предложить фазовую диаграмму состояния углерода в зависимости от температуры  $T$  и давления  $P$ , учитывающую поглощение энергии  $E$ , при возрастающей скорости синтеза структур. Диаграмма отражает новые области образования фаз при формировании природных минералов, включающие импактные высокодефектные алмазы, а также переходные области, связанные с выпадением из жидкости как ультрадисперсных алмазов, так и микрогруппировок графита и лонсдейлита.

#### Литература

1. Хейфец, М. Л. О самоорганизации процессов формирования свойств поверхностного слоя при комбинированных методах обработки металлов / М. Л. Хейфец // Доклады АН Беларуси, 1995. – Т. 39, № 2. – С. 109–113.
2. Аносов, В. Я. Основы физико-химического анализа / В. Я. Аносов, М. И. Озерова, Ю. Я. Фиалков. – М. : Наука, 1976. – 504 с.
3. Курнаков, Н. С. Введение в физико-химический анализ / Н. С. Курнаков. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1940. – 562 с.
4. Витязь, П. А. Анализ метастабильных и неравновесных процессов по диаграммам состояния при синтезе сверхтвердых материалов / П. А. Витязь, М. Л. Хейфец // Доклады НАН Беларуси, 2007. – Т. 51, № 2. – С. 95–99.
5. Афанасьев, В. П. Попигайские импактные алмазы: новое российское сырье для существующих и будущих технологий / В. П. Афанасьев, Н. П. Похиленко // Инноватика и экспертиза. – 2013. – Вып. 1 (30). – С. 8–15.