

ИСТОЧНИКИ УГЛЕРОДА, ВОДОРОДА, АЗОТА, ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ В
ПРИРОДНЫХ АЛМАЗАХТретьякова Л.И.¹ (ltretia@gmail.com), Люхин А.М.² (alex.lyukhin@gmail.com)¹ Санкт-Петербургское отделение. ² ООО "Институт дистанционного прогноза руд", МоскваTHE SOURCE OF CARBON, HYDROGEN, NITROGEN, NOBLE GASES IN
NATURAL DIAMONDSTretiakova L.I.¹, Lyukhin A.M.²¹ Saint Petersburg branch. ² ООО "Institute of remote ore prognosis", Moscow, Russia

При всех методах синтеза алмаз образуется из любого углеродсодержащего вещества всегда только при импульсном нагреве последнего за время, измеряемое микросекундами, при тех же давлениях и температурах пиролиз приводит к образованию графита (Дигонский, 2013). Импульсный нагрев С-вещества в природных условиях происходит только при импактном событии, результатом которого является высокое давление (НР) и возрастающая температура (НТ), индуцированная быстрым сжатием пород мишени ударной волной за время, измеряемое микросекундами.

Углерод в алмазе представлен разновидностями не кристаллического С, гексагональным графитом, кубической и гексагональной фазой алмаза, карбинами (С≡С), фуллеренами и различными карбидами. Свидетельствами импактных событий, ставших причиной образования природных алмазов, являются: (1) присутствие в алмазах указанных переходных С фаз, диагностируемых по спектрам ФЛ (Третьякова, Люхин, 2017 и ссылки в ней): 549.2, 551.7 нм – графит; 550.3–550.7–551 нм – переходные $sp^2 \rightarrow sp^3$ С фазы; 552.4 нм – алмаз и 552.2 нм – лонсдейлит (кубическая и гексагональная sp^3 фазы С); 554.2–554.7 нм – преобразование С фаз, отражающее наследование посторонних примесей исходного С-вещества, преобразуемого ударной волной (Miyamoto et al., 1993), присутствие фуллеренов – носителей фаз инертных газов ³He и Ar, внедренных в слабо графитизированную матрицу углистых хондритов указывает на их внеземное происхождение (Becker, 2000). (2) Раман линия (РЛ) алмаза 1332.5 см⁻¹ (552.4 нм) в условиях НРНТ становится асимметричной, уширенной и при замещении изотопов ¹²С на ¹³С, наблюдается ее сдвиг, в наших образцах уширение РЛ – от 3.2 до 9 см⁻¹, что подтверждается на примере алмазов, подвергнутых многократным отжигам с целью их облагораживания. (3) Пластические деформации в алмазах – результат сильного стресса.

Метеориты, микрометеориты, звёздные частицы пыли (IDPs), кометы, астероиды являются источниками органического вещества, включающего в свой состав газы. Главные элементы органического вещества С, Н, N, O, S имеют аномалии изотопов, что указывает на его происхождение в presolar молекулярных облаках. Большая часть С-и N-содержащих фаз в хондритах –

органический материал, макромолекулы которого обогащены тяжёлым стабильным изотопом Н – дейтерием ($\delta D = -1000$ до 11000 ‰), значение которого зависит от класса хондрита (Remusat, 2015).

С, Н, N элементы образуют различные дефекты в структуре алмаза. Водород является важным элементом в процессе формирования алмаза и образует решеточные дефекты, представленные органическими соединениями: C=H (3107 см^{-1}), C=CH₂ ($1405, 3107, 4169, 4495\text{ см}^{-1}$), CH₂ и CH₃, ($2920, 2854$ и $2960, 2880, 1460\text{ см}^{-1}$), CH₄ ($2850, 2950\text{ см}^{-1}$) и N-H ($2835, 323, 3085\text{ см}^{-1}$), (N-V-H)⁰ (3123 см^{-1}) и др., определяемыми ИКС, разные формы микроскопических включений в алмазе и на его поверхности. Значение изотопа Н δD : для углистых хондритов (-240 до $+1010$ ‰), IDPs (-386 до $+2700$ ‰), земных пород и минералов (-200 до $+22$ ‰), значение δD последних близко к значениям углистых хондритов. D (H⁺) определяется в ФЛС алмаза по полосе 555 нм .

N в алмазах образует дефекты, состоящие из атомов единичного N⁺ и его агрегированных форм, выявляемых ИКС, N-содержащие парамагнитные центры деформационного происхождения: N-C-N⁺, N-C-C-N, N-C-C-N₂⁺ и др. (Минеева и др. 2006), Ni-N и Co-N центры (Третьякова, Люхин, 2017), определяемые в ФЛС, N-H соединения и входит в состав включений в алмазе.

Диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ земных алмазов ($+5.0$ ‰ до ~ -38 ‰), импактных алмазов (-22 до -8 ‰) и карбонадо (-32 до -25 ‰), что подобно значениям $\delta^{13}\text{C}$ алмазов из метеоритов, микро-метеоритов и IDPs $\sim (-5$ до -38 ‰). Для австралийских алмазов найдены положительные корреляции между отношениями изотопов $^3\text{He}/^4\text{He}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, указывающие на то, что ^{13}C сопровождается первичным гелием (Honda et al., 1987).

Диапазон значений $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ прото-солнечной небулы ($2.27 \pm 0.3 \times 10^{-3}$, $^{15}\text{N} = (-383$ до $+8$ ‰), $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ солнечный (4.425×10^{-3} , $^{15}\text{N} = (+200$ ‰), солнечного ветра (3.9 до $> 6 \times 10^{-3}$, $^{15}\text{N} = (360^{+520}_{-280}$ ‰), планетарного (2.25×10^{-3} , $^{15}\text{N} = (-390$ ‰), атмосферы Земли (3.7×10^{-3} , $^{15}\text{N} = (0$ ‰), комет $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (6.8×10^{-3} , $^{15}\text{N} = +850$ ‰); ^{15}N IDPs $= (-100$ до $+500$ ‰). ^{15}N алмазов примитивных метеоритов $= (-100$ до $+200$ ‰), Значения ^{15}N земных алмазов $= (-25$ до $+21$ ‰) близки по изотопным составам к диапазону значений алмазов из метеоритов.

Природные алмазы сохранили внеземные автографы благородных газов (He, Ne, Ar, Kr, Xe), активировавшихся в решетке алмаза, образуя устойчивые примесно-дефектные комплексы, обнаруживаемые по ФЛС: He $\sim 523, 536.6, \sim 562$ нм, Ne⁺ – $716, 719.5$ нм, Xe⁺ – 811.6 и 793.3 нм, (Третьякова, Люхин, 2017), и в кластерах не алмазного углеродного вещества «центральных включений». Месторождение Кумды-Коль является прекрасным примером алмазоносных пород со значительным содержанием ^3He и микро-алмазов с экстремально высоким содержанием ^3He (7×10^{-1} до 8×10^{-9} ‰), превышающим значение $^3\text{He}/^4\text{He}$ внеземных источников: IDPs ($> 10^{-4}$ ‰), солнечного ветра (4.3×10^{-4} ‰), атмосферы Земли (1.4×10^{-6} ‰), MORB (1.1×10^{-5} ‰), OBI (0.7×10^{-4}) и сравнимо с экстремальным содержанием ^3He в нано-алмазах из метеоритов. ($5-48 \times 10^{-6}$ ‰). (Третьякова и Люхин, 2016). Отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ в фуллеренах ($5.5-5.9 \times 10^{-4}$).

Итак, источниками С, Н, N, инертных газов в природных алмазах явились внеземные органические вещества, доставленные на поверхность Земли метеороидами, и преобразованные в алмазы в результате многочисленных импактных событий.

Дигонский С.В. Газофазные процессы синтеза и спекания тугоплавких веществ (карбид кремния, пирографит, алмаз, кубический нитрид бора). //Москва: Геос. 2013. 464 с.

Минеева Р.М., Титков С.В., Солодова Ю.П., и др. Деформационные парамагнитные центры в алмазах из Мирненского кимберлитового поля (Якутия). //СПб: Сборник РМО.2006. с. 153-154.

Третьякова Л.И., Люхин А.М. Импактно–космогенно–метасоматическое происхождение алмазов месторождения Кумды-Коль.// Отечественная Геология. 2016. № 2. с. 69–76.

Третьякова Л.И., Люхин А.М. 2017. Примесные, дефектные центры и включения в природных алмазах – характеристики космогенно-импактно-метаморфогенно-метасоматической истории их генезиса.// В печати.

Becker L., Poreda R.J., Bunch T. E. Fullerenes: An extraterrestrial carbon carrier phase for noble gases.// Proc. Nation. Acad. Science. USA. 2000. V. 97. № 7. С. 2979–2983.

Honda M., Reynolds J. H., Roedder E., Epstein. 1987. Noble gases in diamonds. // J.Geoph. Res.: Solid Earth. 1987, 92, B12, 12507–12521.

Miyamoto M., Takase T., Mitsuda Y. RS various diamonds.// Min. J., Japan. 1993.16. 5. 246–257.

Remusat L. Organic in primitive meteorites.// EMU: Planetary Mineralogy. 2015. 15, 33–65.