

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗОТОПНОМ
ФРАКЦИОНИРОВАНИИ УГЛЕРОДА МЕЖДУ КАРБИДОМ ЖЕЛЕЗА И
АЛМАЗОМ ПРИ МАНТИЙНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

Реутский В.Н. (reutsky@igm.nsc.ru), Борздов Ю.М., Морозов Р.А.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

EXPERIMENTAL DATA ON CARBON ISOTOPE FRACTIONATION
BETWEEN IRON CARBIDE AND DIAMOND AT MANTLE TEMPERATURE
AND PRESSURE

Reutsky V.N. (reutsky@igm.nsc.ru), Borzdov Yu.M., Morozov R.A.

V.S.Sobolev Institute of geology and mineralogy SB RAS

Интерес к фракционированию изотопов углерода между мантийными минералами растет с каждым годом. Очередным импульсом, разогревающим этот интерес, стали расчёты β -фактора для карбидов железа, которые оказались чрезвычайно низкими даже при температурах более 1000°C (Schauble, 2009). Согласно расчётам Horita, Polyakov (under review) равновесное изотопное фракционирование, например, между Fe₃C и алмазом при 1000°C должно составить 10%. Таким образом, намечается механизм масштабного равновесного фракционирования изотопов углерода в мантии Земли, предположения о существовании которого появились более 30 лет назад в связи с установлением широких вариаций величин $\delta^{13}\text{C}$ мантийных алмазов (Deines 1980). Достоверная идентификация механизма крупномасштабного изотопного фракционирования углерода при мантийных температурах и давлениях значительно дополнит, а возможно и изменит, наше представление о геохимии углерода в планетарном масштабе.

Нами проведены экспериментальные исследования распределения изотопов углерода в процессе кристаллизации Fe-C расплава при 6.3 ГПа и 1600-1400°C. Установлено, что на границе кристаллов карбида железа Fe₃C и закалённого Fe-C расплава углерод карбида на 2% тяжелее расплава, из которого он кристаллизуется. Когда концентрация углерода в системе выше 5.7%, то при рассматриваемых параметрах сначала кристаллизуется алмаз. Известно, что алмаз, кристаллизующийся из Fe-C расплава при 5-6 ГПа и 1500°C, на 4.5% тяжелее Fe-C расплава (Reutsky et al., 2012). При температуре ниже перитектики система попадает в поле кристаллизации Fe₃C и алмаз растворяется, возвращая тяжёлый изотоп углерода в расплав. В экспериментах с последовательной кристаллизацией алмаза и Fe₃C из одного и того же Fe-C расплава вблизи области перитектики наблюдаемое значение $\Delta_{\text{Dm-Fe}_3\text{C}}$ составило 5.0±0.1‰. Важно отметить, что изотопный состав углерода карбида во всех экспериментах изменяется в направлении кристаллизации. Тренд состава соответствует изотопному истощению кристаллизующегося расплава.

Наши эксперименты подтверждают, что в области существования расплава карбид и алмаз являются взаимоисключающими фазами и карбид кристаллизуется на фоне растворения ранее выросшего алмаза. Это полностью соответствует фазовой диаграмме Fe-C при высоких температурах и давлениях (Strong, Chrenko, 1971; Lord et al., 2009). Полученные нами изотопные данные имеют несколько важных следствий: 1) кристаллизация избытка углерода в виде алмаза приводит к значительному изотопному облегчению углерода расплава. Применительно к природным обстановкам, это может приводить к локализации изотопно-тяжёлого углерода и отделения его от изотопно-лёгкого расплава. В отношении распределения изотопов углерода процесс аналогичен отделению тяжёлой CO₂ при дегазации магм, происходящей на значительно меньших глубинах. 2) тот факт, что кристаллический Fe₃C изотопно-тяжелее Fe-C расплава, заставляет усомниться в геохимическом значении расчётных коэффициентов $\Delta_{Dm-Fe_3C}=+10\text{‰}$, поскольку при величине $\Delta_{Dm-Melt}=+4.5\text{‰}$ карбид должен быть изотопно-легче Fe-C расплава ($\Delta_{Dm-Fe_3C}=\Delta_{Dm-Melt}-\Delta_{Fe_3C-Melt}$). Экспериментально полученные нами соотношения значений $\delta^{13}C$ алмаза, карбида железа и расплава свидетельствуют, что *величина Δ_{Dm-Fe_3C} при кристаллизации алмаза и Fe₃C из одного и того же расплава не может соответствовать расчётному равновесному значению.* Таким образом, достижение равновесных значений Δ_{Dm-Fe_3C} возможно только путём диффузионного изотопного обмена. Учитывая скорости диффузии изотопов углерода в алмазе (Koga et al., 2003), для изотопного уравнивания макроколичеств алмаза и карбида железа в мантии по диффузионному механизму не достаточно возраста Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 12-05-00846а.

Schauble, E.A., 2009. Equilibrium carbon and hydrogen isotope fractionation in iron. EOS, Transaction AGU, Fall Meeting 90, V11C-1967.

Deines, P. 1980. The carbon isotopic composition of diamonds: relationship to diamond shape, color, occurrence and vapor composition. GCA, Vol. 44, 943–961.

Reutsky, V.N., Borzdov, Yu.M., Palyanov, Yu.N., 2012. Effect of diamond growth rate on carbon isotope fractionation in Fe-Ni-C system. Diam. Relat. Mater. 21, 7-10.

Strong, H.M., Chrenko, R.M., 1971. Further studies on diamond growth rates and physical properties of laboratory-made diamonds. J. Phys. Chem. 75, 1838–1843.

Lord, O.T., Walter, M.J., Dasgupta, R., Walker, D., Clark, S.M., 2009. Melting in the Fe-C system to 70 GPa. EPSL, Vol. 284, 157–167.

Koga, K.T., Van Orman, J.A., Walter, M.J., 2003. Diffusive relaxation of carbon and nitrogen isotope heterogeneity in diamond: a new thermochronometer. PEPI, Vol. 139, 35–43.