

А. В. УХАНОВ, Ю. З. МОЧАЛОВА

**О ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В ЭНСТАТИТЕ
ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ, ИССЛЕДОВАВШИХСЯ
ЭМАНАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 19 V 1970)

Фазовым превращениям энстатита, одного из главных минералов ультраосновных пород, приписывается большая роль в процессах, происходящих в верхней мантии Земли. Полиморфизм $MgSiO_3$ изучался многими исследователями (^{3, 7-12}), и в настоящее время в основном известны положения кривых инверсий и полей устойчивости его трех главных модификаций — протоэнстатита, энстатита и клиноэнстатита. Однако большинство экспериментов выполнено на искусственных смесях, тогда как больший интерес представляли бы данные о превращениях магнезиальных пироксенов из пород мантийного происхождения — ультраосновных включений в базальтах и кимберлитовых трубках взрыва.

Нами изучались ромбические пироксены из ультраосновных желваков в кимберлитовой трубке Обнаженная (Северная Якутия): вебстерита (Об-113), энстатита (Об-307), гарцбургита (Об-306), гранатового пироксенита (Об-32), гранатового пироксенита, содержащего хромшпинелид, замещающийся пиропом (Об-146). Все взятые пироксены, согласно рентгеноструктурному анализу, были энстатитом — преобладающей модификацией природного метасиликата магния. Для их исследования мы применили эманационно-термический метод, пригодность которого для изучения нерадиоактивных минералов, предварительно активированных путем «пропитки», недавно обоснована (⁴). Принципы метода и описание эманационно-термической установки изложены в ряде работ (^{2, 6}). Заметим только, что на эманограммах с большой чувствительностью выявляются структурные изменения образца, происходящие при его нагревании, но расшифровка того, что же именно с ним совершается, требует дополнительных исследований.

Чисто отобранные пироксены истирались и активировались при помощи спиртового раствора радиотория, после чего порошки препаратов нагревались в установке до 1200° со скоростью 5—7 град/мин при непрерывной автоматической записи кривых эманирования. Контрольные, неактивированные, образцы нагревались до той же температуры, закалывались и снова подвергались рентгеноструктурному анализу. Если бы при нагревании имел место переход энстатита в его высокотемпературную модификацию — протоэнстатит, то закаленные пироксены были бы представлены клиноэнстатитом, в который, как известно, превращается протоэнстатит при быстром охлаждении. Но, вопреки ожиданиям, закаленные пироксены оказались структурно идентичными исходным, и, следовательно, в наших опытах температура инверсии энстатит — протоэнстатит не была достигнута. Для синтетического $MgSiO_3$ наиболее надежной точкой этого перехода считается $985 \pm 10^\circ$ (⁷), а изоморфное замещение Mg^{2+} более крупным ионом Fe^{2+} должно снижать его температуру, подобно тому как это установлено для вхождения в энстатит марганца (¹¹). Однако указанная точка инверсии, как и близкие к ней температуры, найденные другими экспериментаторами (¹¹), была получена при 2% добавка LiF . В ра-

ботах, выполненных без применения минерализаторов, указаны более высокие температуры превращения (⁸, ¹²).

Эманограммы всех исследованных нами образцов однотипны (рис. 1). До температуры 300° эманирование не меняется; при дальнейшем нагревании скорость выделения торона

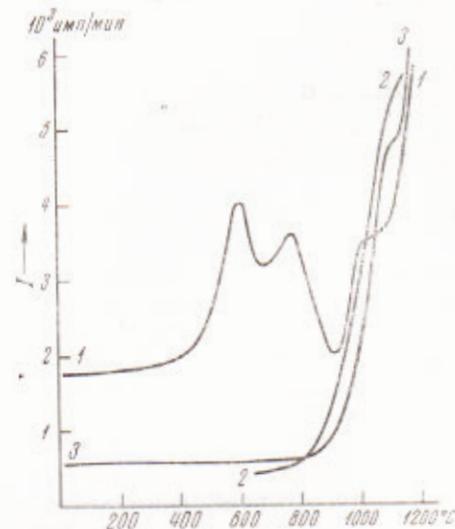


Рис. 1. Эманограммы энстатита (Об-146). 1 — нагревание, 2 — охлаждение, 3 — повторное нагревание

сопоставимы ни с одним из известных полиморфных переходов в $MgSiO_3$. К тому же пироксены после нагревания до 600 и до 800°, как показал рентгеноструктурный анализ, сохраняют структуру энстатита.

Пытаясь выяснить природу этих изменений и убедиться в том, что обнаруженные эффекты не связаны с окислением содержащегося в минерале Fe^{2+} , мы прогрели исходный энстатит в запаянных ампулах, из которых был откачан воздух, до 600 и до 850°, после чего порошки были вторично растерты, активированы и исследованы в эманационно-термической установке. Оказалось, что на эманограмме образца, предварительно прогретого до 600°, отсутствует первый пик, а на кривой образца, нагретого до 850°, нет и второго. Очевидно, что рассматриваемые эманационные эффекты не вызываются побочными изменениями, а обусловлены структурными превращениями в самом энстатите.

По нашему мнению, изменения в исследованных образцах энстатита, совершающиеся при их нагревании между 400 и 900°, относятся к превращениям второго рода типа порядок — беспорядок. Это подтверждается изучением мессбауэровских спектров Fe^{57} , которое показало, что в ромбических пироксенах упорядоченное распределение ионов железа и магния после нагревания до 1000° сменяется беспорядочным (¹³). Эманационно-термический метод позволил наблюдать динамику этого процесса и определить температуры, при которых он идет наиболее интенсивно. Разупорядочивание могут претерпевать не только Fe^{2+} , но и Ca^{2+} - и Al^{2+} -ионы и другие примеси, изоморфно растворенные в природных энстатитах, что, вероятно, и вызывает появление дополнительных пиков.

Необратимый характер превращений, обнаруженных в энстатите, убеждает в том, что находившиеся в кимберлитовом расплаве ультраосновные желваки не прогревались выше 500—600°. Отсутствие термического воздействия кимберлита на ксенолиты эклогита в трубке Обнаженная отмечалось также при определении их абсолютного возраста калий-аргоновым методом (⁹). Если принять во внимание, что температура ким-

берлитового расплава была около 1000° (¹), то объяснить это можно только быстрым подъемом ксенолитов, сопровождавшимся их механическим обтачиванием о стенки подводящей трещины. Сами перидотиты и пироксениты в кимберлитовый расплав попали уже «холодными», и, следовательно, во время кимберлитового магматизма эти породы, некогда возникшие как высокотемпературные минеральные ассоциации, находились на глубине в метастабильном состоянии, подобно метаморфическим породам кристаллических щитов, выходящим на дневную поверхность. Правда, можно допустить, что структурная упорядоченность в энстатитах желваков возникла после застывания кимберлита в приповерхностных условиях, но такое предположение кажется маловероятным из-за ничтожно малой скорости перемещения ионов в кристаллах при низких температурах.

Поступило
9 V 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Т. Базилевский, А. В. Уханов, *Геохимия*, № 12 (1967). ² К. Б. Заборенко, Л. Л. Мелихов, В. А. Портяной, *Радиохимия*, 7, № 3 (1965). ³ В. К. Марков, Л. Д. Лившиц и др., *Изв. АН СССР, сер. геол.*, № 7 (1965). ⁴ Ю. З. Мочалова, К. Б. Заборенко, *Геохимия*, № 6 (1968). ⁵ Л. В. Фирсов, Н. В. Соболев, *Геология и геофизика*, № 10 (1964). ⁶ О. Хан, *Прикладная радиохимия*, Л.—М., 1947. ⁷ L. Atlas, *J. Geol.*, 60, № 2 (1952). ⁸ N. L. Bowen, J. F. Schairer, *Am. J. Sci.*, 29, 151 (1935). ⁹ F. R. Boyd, J. L. England, *Carnegie Inst. Year Book*, 1965, p. 64. ¹⁰ F. R. Boyd, J. L. England, B. T. C. Davis, *J. Geophys. Res.*, 69, № 10 (1964). ¹¹ W. L. Brown, J. V. Smith, *Zs. Kristallogr.*, 118, 186 (1963). ¹² W. R. Foster, *J. Am. Ceram. Soc.*, 34, 255 (1951). ¹³ B. J. Evans, S. Ghose, S. Hafner, *J. Geol.*, 75, № 3 (1967). ¹⁴ J. F. Sarver, F. A. Hummel, *J. Am. Ceram. Soc.*, 45, № 4 (1962).