

И. П. ЩЕРБАНЬ, И. Н. ШИРОКИХ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ  
КРЕМНИСТО-СИДЕРИТОВОЙ И КРЕМНИСТО-АНКЕРИТОВОЙ  
МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ  
УСЛОВИЯХ**

*(Представлено академиком В. С. Соболевым 20 I 1970)*

Экспериментальные данные, касающиеся устойчивости железистых карбонатов в ассоциации с кварцем, и в частности анкерита и сидерита с кварцем, до последнего времени отсутствовали в опубликованной литературе. Между тем известно, что как кварцево-сидеритовая, так и кварцево-анкеритовая минеральные ассоциации получили весьма широкое распространение в полях локализации ряда типов гидротермальных рудных месторождений, где они, с одной стороны, входят в состав жильных минералов, а с другой — обнаруживаются в гидротермально измененных околорудных породах, приобретая в некоторых из них, например гумбеитах, роль породобразующих минералов. Нельзя забывать, кроме того, что кварцево-карбонатные ассоциации рассматриваются рядом исследователей как весьма перспективные геологические термометры, пригодные для градуировки процессов рудообразования и метасоматического преобразования пород. Все сказанное послужило основанием для постановки серии экспериментов по изучению устойчивости кремнисто-сидеритовой и кремнисто-анкеритовой минеральных ассоциаций в гидротермальных условиях, результаты которых положены в основу настоящей заметки.

Эксперименты проводились в горизонтальном экзоклаве конструкции Ф. В. Сыромятникова, с перекрытыми во время опытов вентилями, т. е., в сущности, в закрытой системе. В качестве исходных материалов использовались тщательно перетертые и перемешанные смеси аморфного кремнезема с сидеритом и анкеритом, приближающимся по своему составу к эталонным \*. Сидерит был отобран на Бакальском, а анкерит — на Абазинском железорудных месторождениях. Весовые соотношения кремнезема и карбонатов во всех случаях выдерживались постоянными и равнялись 1 : 1, причем гигроскопическая вода, входящая в состав кремнезема, при расчете навески исключалась. Размер навески составлял 40—50 мг. Предварительно из экзоклава вакуумным насосом откачивался воздух, с тем чтобы избежать окисляющего влияния кислорода на железистые карбонаты и продукты реакций, после чего полезный объем рабочей камеры заполнялся дистиллированной водой, насыщенной азотом. Насыщение воды азотом осуществлялось в насытителе конструкции С. Д. Малинина (1), непосредственно соединенном при помощи капилляра, изготовленного из нержавеющей стали, с рабочей камерой экзоклава. Все эксперименты проводились непрерывно в течение 7 суток каждый. Закалка продуктов реакции осуществлялась путем съема печей с головок экзоклава и его быстрого развинчивания, что обеспечивало охлаждение продуктов реакции до комнатной температуры в течение нескольких минут. Давление в течение опытов замерялось при помощи образцового манометра, точность работы которого составляет  $\pm 10$  атм. Температура в головке экзоклава замеря-

\* Анкерит содержит 30,20% CaO, 13,05% MgO, 14,90% FeO и 41,50% CO<sub>2</sub>. Сидерит состоит из 65% FeO и 34,5% CO<sub>2</sub>.

лась хромель-алюмелевой термопарой с точностью  $\pm 5^\circ$ . Диагностика полученных продуктов осуществлялась методом рентгеноструктурного анализа. Результаты проведенных экспериментов приведены на рис. 1.

Как можно видеть, на рис. 1а отчетливо выделяются два поля — низкотемпературное и сравнительно высокотемпературное, граница между которыми проходит в области температуры порядка  $175^\circ$ . Ниже этой границы исходная кремнисто-сидеритовая ассоциация подверглась в течение эксперимента весьма несущественным преобразованиям, выразившимся главным образом в раскристаллизации кремнезема.

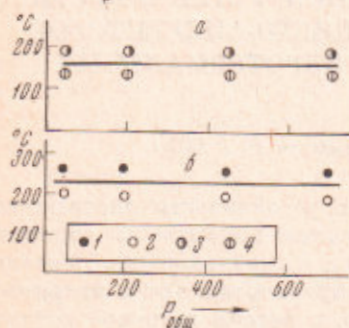


Рис. 1. Результаты экспериментальных исследований. 1 — миннезотаит, 2 — анкерит + кремнезем, 3 — миннезотаит + кремнезем, 4 — сидерит + кремнезем

Более существенные изменения установлены во всех без исключения пробах, расположенных в более высокотемпературной области. Исходная кремнисто-сидеритовая ассоциация оказалась здесь неустойчивой и подверглась замещению железистым гидросиликатом, по своей рентгенографической характеристике приближающимся к железистому аналогу талька — миннезотаиту. Следует отметить, кроме того, что во всех пробах установлены помимо миннезотаита небольшие количества не вступившего во взаимодействие с кремнеземом сидерита, а также «монтмориллонитоподобной» фазы, точная диагностика которой методами оптических исследований и рентгеноструктурного анализа затруднительна. Как установлено специально по-

ставленной серией экспериментов, возрастание продолжительности последних ведет при этом к уменьшению количества «монтмориллонитоподобной» фазы и, напротив, к увеличению миннезотаита. В связи с изложенным можно высказать предположение (разумеется, в самом предварительном виде), что «монтмориллонитоподобный» продукт представляет собой метастабильную промежуточную фазу; преобразующуюся впоследствии, по прошествии определенного времени, в миннезотаит, являющийся, по всей вероятности, стабильной фазой.

Результаты экспериментальных исследований по преобразованию ассоциации  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{CO}_3)_2 + \text{SiO}_2$  представлены графически на рис. 1б. Как можно видеть, в данном случае, так же как и в предыдущем, выделяется два поля — низкотемпературное и сравнительно высокотемпературное, граница между которыми проходит около  $225^\circ$ . Как и в отмеченном выше случае, преобразования исходных веществ в пределах низкотемпературного поля несущественны и выражаются в основном в раскристаллизации кремнезема, в то время как исходный карбонат не несет уловимых следов изменений. В условиях сравнительно высокотемпературного поля, напротив, большая часть анкерита и кремнезема вступает во взаимодействие, в результате чего образуется миннезотаит и кальцит. При этом помимо двух упомянутых фаз определяется также то или иное количество непрореагировавшего карбоната, кремнезема и «монтмориллонитоподобной» фазы, количество которых по мере возрастания продолжительности экспериментов уменьшается.

Завершая изложение экспериментального материала, необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что как в первой так и во второй серии экспериментов предполагаемые линии равновесия рассматриваемых реакций располагаются параллельно оси давления. Как известно, температура реакций диссоциации карбонатов зависит от парциального давления углекислоты и весьма существенно возрастает с увеличением последнего, что на первый взгляд находится в противоречии с результатами проведенных экспериментов. Это, казалось бы, парадоксальное положение может

быть объяснено, на наш взгляд, весьма незначительным содержанием углекислоты в сфере реакции, в связи с чем даже существенное возрастание общего давления приводит к сравнительно небольшому в абсолютном выражении увеличению парциального давления  $\text{CO}_2$ , влияние которого практически не улавливается использованной измерительной аппаратурой.

Таким образом, суммируя изложенное, можно заключить, что при общем давлении, не превышающем 800 атм. и содержании углекислоты, равном 0,0002—0,0004 объема газовой фазы, кремнисто-сидеритовая минеральная ассоциация является устойчивой до  $175^\circ$ , а кремнисто-анкеритовая — до  $225^\circ$ . В случае превышения указанных температур эти ассоциации оказываются неустойчивыми и замещаются миннезотантом первая и миннезотантом совместно с кальцитом — вторая.

Институт геологии и геофизики  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Новосибирск

Поступило  
18 XII 1969

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> С. Д. Малинин, В кн. Экспериментальные исследования в области глубинных процессов, М., 1962.