

Э. Н. КОРЫТКОВА, Т. А. МАКАРОВА

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СЕРПЕНТИНИЗАЦИИ ОЛИВИНА

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 10 II 1970)

Для познания природы асбестов и условий их образования большой интерес представляют исследования, связанные с получением искусственных волокнистых силикатов амфиболового и серпентинового составов. Эти исследования, в некоторой степени моделирующие природные условия, могут помочь в решении сложных вопросов генезиса асбестов в природе.

В этой связи значительный интерес имело экспериментальное исследование процессов серпентинизации природных оливинов и пироксенов, являющихся основными компонентами гипербазитов.

Имеющиеся в литературе данные по устойчивости природных и синтетических силикатов магния в гидротермальных условиях<sup>(1-4)</sup> несистематичны и зачастую противоречат друг другу.

Нами была проведена серия опытов для изучения поведения оливина в различных средах (щелочной и нейтральной) при  $t = 100-300^\circ$  и  $P$  до 1000 атм.

В первой серии опытов природный оливин ( $\text{Fo}_{85}\text{Fa}_{15}$ ) был измельчен до величины зерна 40 м и подвергнут гидротермальной обработке щелочными растворами разной концентрации (0,5—5% NaOH). Щелочная среда создавалась гидроокисью и силикатами натрия, которые использовались для введения определенного количества  $\text{SiO}_2$ , необходимого для создания в смеси стехиометрии серпентина. Аппаратура и методика обработки описаны нами ранее<sup>(5)</sup>.

Продукты гидротермальной обработки оливина отмывались от щелочи, высушивались и подвергались комплексному исследованию.

Результаты экспериментов показали следующее. Воздействие щелочных растворов (0,5—5% NaOH) на оливин при  $t = 100-150^\circ$  и  $P \ll 1000$  атм. не вызывает никакого изменения исходного минерала. Некоторые признаки изменения оливина наблюдаются при обработке его 3—5% растворами NaOH при  $t = 200^\circ$  и  $P = 500-900$  атм. В этом случае кристаллы оливина дробятся, теряют прозрачность, выгledят под микроскопом изъеденными. Продукт 3-суточной обработки минерала 3% раствором NaOH при  $t = 250$  и  $P = 500$  атм. — это рыхлая масса светло-зеленого цвета, с поверхности покрытая белесой пленочкой. Под микроскопом видно, что эта пленка состоит из комков тонкодисперсного вещества с показателем преломления 1,537—1,540 и темно-бурыми выделениями магнетита. Электронномикроскопическое исследование обнаружило тонковолокнистое строение этой пленки. Остальная часть продукта 3-суточной обработки представлена серпентином и неизменными и частично измененными кристаллами оливина. Показатели преломления серпентина:  $N_x = 1,567$ ;  $N_y = 1,555$ ;  $N_z - N_p = 0,012$ . По данным оптического и рентгенографического исследования (табл. 1) — это антигорит.

При 3-суточной обработке оливина 2—2,5% раствором NaOH при  $t = 300^\circ$  и  $P = 500-900$  атм. наблюдается увеличение количества хризотила в верхней части продукта и антигорита — в остальной; совсем неизменных кристаллов исходного минерала становится меньше, увеличивается количество псевдоморфоз антигорита по оливину.

Наиболее ярко серпентинизация оливина проявляется при 30-суточной обработке последнего при  $t = 250^\circ$  и  $P = 500$  атм. В этом случае воздействие 0,8—1% растворов NaOH на оливин приводит к его полному преобразованию в серпентин. Примерно  $\frac{1}{6}$  часть продукта обработки (его верхняя часть) сложена хризотилом, а остальная — антигоритом. Никаких



Рис. 1. Электронмикроскопическая фотография таблитчатых кристаллов антигорита и волокнистого хризотила, полученных при гидротермальной обработке оливина.  $24\,000\times$

реликтов оливина не наблюдается. Антигорит представлен пластинчатыми кристаллами, хризотил — волокнами с толщиной  $\sim 0,05 \mu$  и длиной  $\sim 10^{-3}$  см (рис. 1). Химический состав новообразованного антигорита (%):  $\text{SiO}_2$  44,55,  $\text{MgO}$  36,97,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  6,15,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,40,  $\text{CaO}$  0,21. Сумма 100,25.

30-суточная выдержка оливина при  $t = 250^\circ$  и  $P = 500$  атм. в нейтральной среде (дистиллированная вода) тоже приводит к его изменению. В продукте обработки, помимо совсем неизмененных кристаллов исходного минерала, наблюдается в разной степени измененный оливин, псевдоморфозы серпентина по оливину и серпентин. Результаты оптического ( $N_s = 1,556$ ,  $N_p = 1,548$ ,  $N_s - N_p = 0,008$ ) и рентгенографического исследования (см. табл. 1) позволяют

диагностировать полученный серпентин как лизардит. В верхней части продукта обработки наблюдаются единичные волокна хризотила.

При увеличении температуры обработки оливина до  $300^\circ$  лизардитизация его проходит быстрее и в большей степени.

Сопоставление данных по гидротермальной обработке оливина в щелочной и нейтральной средах

Таблица 1\*

Антигорит		Лизардит	
$d_x, \text{A}$	$I$	$d_x, \text{A}$	$I$
7,28	6	7,50	6
3,62	9	4,62	5
2,79	5	3,65	6
2,52	10	2,50	4
1,564	7	2,15	7
1,541	7	1,537	9
1,526	2	1,508	7
1,507	3	1,308	4

\* Приведены лишь наиболее сильные линии.

показывает, что процесс серпентинизации оливина протекает значительно интенсивнее в щелочной среде. При одном и том же времени обработки в условиях одинаковых  $t$  и  $P$  оливин нацело серпентинизируется в щелочной

среде и лишь частично — в нейтральной. В щелочной среде происходит антигоритизация оливина, а в нейтральной — лизардитизация. Щелочная среда весьма благоприятна для перекристаллизации новообразованного антигорита в хризотил, тогда как в нейтральных условиях отмечается незначительное развитие хризотила по лизардиту.

Исходя из экспериментальных данных, можно предполагать, что и в природе оливины (а следовательно — и дуниты) и перидотиты лизардитизируются при небольших температурах и давлениях под воздействием нейтральных и, вероятно, слабо минерализованных растворов, которые вряд ли связаны с магматическими породами. Однако для интенсивной антигоритизации и особенно хризотилизации тех же пород необходимо воздействие щелочных кремнеземсодержащих растворов, источником которых, по-видимому, должны служить гранитоидные интрузии, расположенные вблизи гипербазитовых массивов.

Институт химии силикатов  
им. И. В. Гребенщикова  
Академии наук СССР  
Ленинград

Поступило  
5 II 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> F. G. Wells, *Am. J. Sci.*, 18, № 103 (1929). <sup>2</sup> Ф. В. Сыромитников, Тр. II Совещ. по эксперимент. минералогии и петрографии, М., 1937. <sup>3</sup> W. Jander, J. Wulher, *Zs. anorg. u. allgem. Chem.*, 235, Н. 4 (1938). <sup>4</sup> N. Bowen, O. F. Tuttle, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 60 (1949). <sup>5</sup> Э. Н. Корыткова, А. Д. Федосеев, Сборн. Химия высокотемпературных материалов, «Наука», 1967.