

И. А. ОСТРОВСКИЙ

## ИСКУССТВЕННЫЙ ЩЕЛОЧНОЙ ГИДРОКСИЛ-АМФИБОЛ

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 15 X 1949)

Амфиболы широко распространены в природе, являясь существенным минералом многих изверженных горных пород. Искусственное их воспроизведение, однако, затруднено тем, что молекула амфибола не может быть построена без участия воды (гидроксила). Введение воды (или ее заменителей) при высокой температуре создает известные затруднения. Поэтому были успешны лишь немногочисленные опыты.

Перечисляя важнейшие и наиболее достоверные синтезы, следует прежде всего упомянуть К. Хрущова<sup>(2)</sup>, который впервые получил гидроксил-амфибол в гидротермальных условиях. Людке<sup>(3)</sup> и Шейман синтезировали фтористо-гидроксильные амфиболы при низком давлении. Д. П. Григорьев<sup>(1)</sup> получил фтористый (безводный) амфибол, сплавляя в открытом тигле при 1100° смесь реактивов с участием фтористого кальция. В этих исследованиях, однако, условия эксперимента сильно отличались от условий образования обычных породообразующих гидроксильных амфиболов изверженных горных пород.

Поэтому мною были предприняты опыты по «магматическому» получению чисто гидроксильных амфиболов в условиях умеренно высокой температуры под давлением водяного пара, т. е. в условиях, приближающихся к обстановке природного процесса кристаллизации магмы. Из всех опытов наиболее удачным оказались те, когда, по совету Д. С. Белянкина, были использованы в качестве исходных продуктов смеси, отвечающие низкоплавким щелочным амфиболам.

Опыты. Техника эксперимента вкратце заключалась в том, что составленная шихта в количестве 1—3 г помещалась в фарфоровом тигле в стальной автоклав емкостью 39,7 см<sup>3</sup> вместе с определенным количеством воды. Автоклав нагревался до нужной температуры, выдерживался некоторое время, а затем охлаждался с желаемой скоростью. Температура определялась лишь с малой степенью точности, порядка  $\pm 10$ —20°. Давление при высокой температуре вычислялось, исходя из удельного объема пара. Шихта составлялась из стандартных чистых реактивов: сухой гель кремнекислоты, безводный силикат натрия и смесь окиси железа с металлическим железом, эквивалентная закиси железа. Для удержания железа в расплаве преимущественно в закисной форме создавалось давление водорода (обычно 100 кг/см<sup>2</sup>). Водород получался за счет частичного разложения воды металлическим железом, которое в строго определенном количестве вводилось в автоклав и помещалось выше шихты.

Состав исходной шихты видоизменялся различным образом. Наиболее удовлетворительным в смысле кристаллизации амфибола в наших условиях оказался состав, приготовленный по формуле  $\text{Na}_4\text{Fe}_4^{++}\text{Si}_8\text{O}_{22}$ .

После опыта эта шихта превращалась в агрегат кристаллов амфибола с небольшим количеством стекла. Опыты проводились при различных давлениях и температурах.

При расчетном давлении около  $1000 \text{ кГ/см}^2$  (удельный объем  $3,6 \text{ см}^3/\text{г}$ , давление водяного пара  $900 \text{ кГ/см}^2$  и давление водорода  $100 \text{ кГ/см}^2$ ) температура плавления шихты равна  $700^\circ$ . Выше этой температуры при закалке в пробах наблюдается стекло ( $N = 1,548 \pm$ ) с мельчайшими высокопреломляющими бесцветными кристалликами, по видимому, фаялита. Ниже  $700^\circ$  в пробах стекла не наблюдается и проба слагается, по видимому, исключительно мелкозернистым амфиболом (реакция в твердой фазе). При медленном охлаждении пробы от  $740$  до  $690^\circ$  и затем быстрой закалке

удавалось получать препараты, где, наряду со стеклом, усеянным указанными кристалликами, присутствовали крупные кристаллы амфибола, выросшие из расплава.

Значительный геологический интерес представляло определение той минимальной величины давления, ниже которой амфибол уже не может образоваться. Установлено, что для описываемого щелочно-железистого амфибола такое пограничное давление равно приблизительно  $500 \text{ кГ/см}^2$  (удельный объем водяного пара  $7 \text{ см}^3/\text{г} \pm$ , давление водяного пара  $400 \text{ кГ/см}^2$  и давление водорода  $100 \text{ кГ/см}^2$ ). Выше этой величины из расплавов при медленном охлаждении неизменно кристаллизуется амфибол. При последовательном уменьшении расчетного давления к амфиболу присоединяется кристаллизующийся в значительных количествах эгириновый пироксен и некоторые другие образования. При дальнейшем понижении давления до  $300 \text{ кГ/см}^2$  кристаллизация сильно за-



Рис. 1. Мелкие идиоморфные кристаллы амфибола в участке сплава, обогащенном стеклом. Сплав № 20-д.  $\times 100$ . При одном никеле

трудняется и пробы остаются практически в стекловидном состоянии (амфибол наблюдается лишь у стенок тигля).

Давление  $500 \text{ кГ/см}^2$  соответствует статической нагрузке на глубине около  $2 \text{ км}$  от земной поверхности. Можно думать, таким образом, что щелочно-железистые амфиболы в общем случае не образуются при застывании природных изверженных горных пород на меньших глубинах.

Описание полученных продуктов. Затвердевший сплав представлял крепкую черную мелкокристаллическую массу с частыми пустотками. На стенках пустот, на поверхности сплава, а также на стенках тигля наблюдались друзы кристаллов амфибола, к которым иногда присоединялись кристаллики пироксена. На поверхности сплава наблюдался слой зеленовато-белого аморфного вещества с включениями кристаллов амфибола и, главным образом, пироксена. В последнем определено  $N_p = 1,764 \pm 0,004$ . Судя по отрицательному удлинению и почти прямому погасанию и по характерной спайности, этот минерал следует считать эгирином. В отличие от обыкновенного эгирина, данный пироксен почти бесцветен. Можно думать, что мы имеем дело с своеобразным эгирином, в котором почти все железо находится в двухвалентной форме. Все эти продукты, по видимому, образовались не из

расплава, но из газовой (флюидной) фазы и отчасти из раствора при дальнейшем охлаждении.

Под микроскопом сплав (рис. 1) представляет агрегат кристаллов амфибола размером от 0,05 до 1 мм. Междузерновые промежутки или пусты или частично выполнены бесцветным стеклом ( $N = 1,49 \pm 0,01$ ). В кристаллах амфибола иногда встречаются мельчайшие включения, повидимому, фаялита и рудных зернышек. Особенно часты включения стекла с большими газовыми пузырьками. Газовые пузырьки, даже самые мелкие, неподвижны.

Амфибол макроскопически черный, но под микроскопом в обычных препаратах окрашен в зеленый цвет и плеохроичен: по  $N_g$  — темный синевато-зеленый, по  $N_m$  — темный чистозеленый и по  $N_p$  — светлый зеленовато-желтый. Схема абсорбции:  $N_g = N_m \gg N_p$ .

Кристаллы отчетливо вытянуты по [001] и характеризуются преобладающим развитием призматических граней 110 и  $\bar{1}\bar{1}0$  при подчиненной роли 010. Наблюдается совершенная призматическая спайность с углом  $55^\circ 10'$  (по данным гониометрического измерения, любезно произведенного Э. М. Куплетской). Под микроскопом для амфибола характерно слабое двупреломление и чрезвычайно сильная дисперсия погасания. Оптическая ориентировка амфибола необычна: при измерениях на столике Федорова ось [001] оказывается не совпадающей ни с одной из плоскостей симметрии индикатрисы.  $N_m$  образует с осью [001] угол  $25^\circ$ . Координаты спайности и кристаллографической оси относительно осей индикатрисы таковы (для желтого света) (табл. 1):

Таблица 1

	$N_g$	$N_m$	$N_p$
[001]	67	25	81
$\perp 110$	58	85	32
$\perp \bar{1}\bar{1}0$	71,5	73,5	26

$N_p' = 1,692 \pm 0,002$ . Угол оптических осей отрицательный и равен  $61^\circ$ . Часто наблюдаются двойники и взаимные прорастания индивидов. Присутствие в амфиболе конституционной воды, выделяющейся в интервале  $860$ — $880^\circ$ , доказано термическим анализом (рис. 2), произведенным в Пирохимической лаборатории А. И. Цветковым. После выделения воды имело место плавление вещества при  $965$ — $1000^\circ$ .

Полный химический анализ амфибола, очищенного от примеси стекла путем обработки разбавленной соляной кислотой и щелочью, был произведен О. А. Алексеевой в Центральной химической лаборатории. Получены следующие данные (табл. 2).

Сравнение состава шихты и амфибола свидетельствует о некотором загрязнении амфибола глиноземом, окисью кальция и магния, извлеченными, повидимому, из тигля. Наблюдается явное обогащение амфибола железом. Это обогащение эквивалентно вычитанию приблизительно 25% (по весу) состава  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ . Повидимому, это количество частично вошло в состав остаточного стекла, а частично растворилось в газовой фазе. Из анализа видно, что минерал действительно является водным щелочным метасиликатом железа, од-

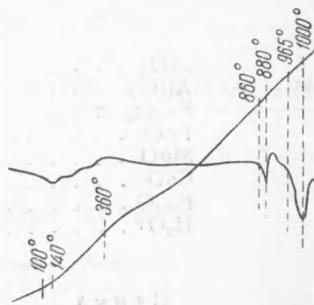


Рис. 2. Кривая нагревания искусственного амфибола

Предварительные гониометрические измерения Э. М. Куплетской не обнаружили особенных отличий в положении главных граней по сравнению с обычными данными для моноклинных амфиболов.

Показатели преломления были измерены в иммерсии:  $N_p = 1,700$  (вычислено из  $2V$ );  $N_m = 1,698 \pm 0,004$ ;

Таблица 2

Сопоставление состава амфибола и исходной шихты

	Состав шихты в вес. %	Состав амфибола	
		в вес. %	мол. колич. × 1000
SiO <sub>2</sub> . . . . .	53,9	46,52	775
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	—	1,88	18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	—	7,02	44
FeO . . . . .	32,2	32,11	447
MgO . . . . .	—	0,70	17
CaO . . . . .	—	1,83	33
Na <sub>2</sub> O . . . . .	13,9	9,16	148
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	—	1,40	78
Сумма . . . . .	100,0	100,62	—

нако цифры не укладываются строго в формулу амфибола. Впредь до получения более чистого материала вопрос о точной формуле нашего амфибола следует оставить открытым.

Представляло интерес получение рентгеноструктурной характеристики искусственного амфибола. Это было сделано по нашей просьбе Е. Н. Беловой в Институте кристаллографии. По вычислениям Е. Н. Беловой, размер первичной ячейки искусственного амфибола в направлении оси [001] равен 5,28 Å.

**З а к л ю ч е н и е.** По всем данным полученный минерал действительно является щелочным гидроксил-амфиболом. Способ его получения является значительным приближением к условиям образования амфиболов в природных изверженных горных породах. Несколько необычна оптическая ориентировка. Однако среди природных амфиболов можно найти такие щелочно-железистые амфиболы, которым свойственна близость  $N_m$  к оси [001], например, тарамиты Морозевича (<sup>4</sup>).

Температура плавления щелочно-железистого амфибола при высоком давлении водяного пара равна приблизительно 700°, т. е. на 260° ниже температуры плавления обезвоженного амфиболового вещества при низком давлении. Величина наименьшего давления, которое необходимо для успешной кристаллизации амфибола из расплава, оказалась равной приблизительно 500 кг/см<sup>2</sup>.

Институт геологических наук  
Академии наук СССР

Поступило  
12 X 1949

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Д. П. Григорьев. Тр. Геол. ассоц. АН СССР, в. 3, 51 (1935). <sup>2</sup> К. Хрущов, Bull. Acad. Sci. St-Petersb., 13 (1890). <sup>3</sup> W. Lü d k e, Fortschr. Min., Krist., 18, 1, 29 (1933). <sup>4</sup> J. M o r o z e w i c z, Tsch. Mitt., 38, 212 (1925).