

МИНЕРАЛОГИЯ

В. И. ЛЕБЕДЕВ

ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ ЯВЛЕНИЙ АМФИБОЛИЗАЦИИ ПИРОКСЕНА

(Представлено академиком А. А. Полкановым 9 IX 1950)

Известно, что процесс амфиболизации пироксенов представляет собой весьма распространенное явление, однако до сих пор это явление изучено недостаточно, в частности, недостаточно изучена амфиболизация пироксенов основных пород в зонах гранитизации. Чтобы частично заполнить этот пробел, и было предпринято изучение коллекции образцов, собранных еще в 1937 г. нами, Г. Н. Бунтиным и Л. А. Косым из весьма своеобразных пегматитовых жил вмещающей их основной породы Порожечной вараки (с. Карелия).

Порожечная варака представляет собой небольшое возвышение, сложенное массивом сильно амфиболизированной основной породы, размером около 600 м в поперечнике, залегающим среди магматизированных биотитовых гнейсов. В центральной части массив рассечен рядом пегматитовых жил. Пегматитовые жилы имеют не совсем правильную форму. Длина жил от 15 до 80 м, видимая мощность от 1 до 30 м. Исключительной особенностью этих жил является наличие крупных скоплений пироксена и развивающегося по нему амфибола, аналогичных с пироксеном и амфиболом вмещающей породы. Пироксен в жилах образует крупные сильно амфиболизированные идиоморфные кристаллы до 50 см длиной и 30 см в поперечнике. Располагается он участками близ зальбандов или чаще вокруг ксенолитов вмещающей породы, от которых нередко остаются лишь следы. Кроме пироксена и амфибола, жилы сложены преимущественно плагиоклазом, кварцем и микроклином. В сравнительно небольшом количестве встречается биотит, еще в меньшем — эпидот, кальцит, хлорит и апатит. Наблюдения показывают, что пироксен выделился одним из первых и образовался за счет ассимиляции пегматитовым веществом приконтактных зон вмещающей основной породы и особенно ее обломков.

При изучении амфиболизации обращает на себя внимание следующее. Крупные кристаллы пироксена всегда сильно амфиболизированы. При этом пироксен почти нацело превращен в амфибол в периферической части кристаллов, а в центральных частях кристаллов он лишь как бы пронизан мелкими выделениями амфибола, напоминающими закономерно ориентированные пойкилитические вроски. Во многих случаях в ассоциации с амфиболом встречается и кальцит. В участках сильной амфиболизации наблюдаются кристаллы амфибола до 4 см длиной и 1,5 см в поперечнике. Они всегда частично включены в кальцит.

Иначе в отношении амфиболизации ведут себя мелкие кристаллы пироксена. Они гораздо чаще амфиболизированы много слабее и на них

нередко не наблюдается сильно амфиболизированной внешней зоны. Аналогичное явление отмечается и под микроскопом.

Образование сильно амфиболизированных зон вокруг крупных кристаллов пироксена наводит на мысль о реакционном происхождении амфибола. Однако сохранность мелких кристаллов пироксена и ассоциация амфибола с кальцитом противоречат этому представлению и указывают на то, что амфибол возникает под действием гидротермальных растворов.

С целью изучения химических явлений в процессах амфиболизации нами был произведен химический анализ пироксена и развивающегося по нему амфибола. Анализ пироксена произведен из средней части крупного сильно амфиболизированного обломка кристалла пироксена (табл. 1, гр. 1). Анализ амфибола сделан из периферической почти нацело амфиболизированной части (табл. 1, гр. 3). Для контроля были использованы анализ пироксена, содержащего до 10—11% амфибола, Г. Н. Бунтина (табл. 1, гр. 2) и неполный анализ амфибола (табл. 1, гр. 4) из кристаллов, описанных Л. Булак.

Таблица 1

Окислы	Пироксен (аналитик В. И. Лебедев)	Пироксен с 10—11% рог. обманки (аналитик В. А. Егоров)	Роговая обманка по пироксену (аналитик В. И. Лебедев)	Роговая обманка в кристаллах (аналитик Л. Н. Никулина)
	1	2	3	4
SiO ₂	52,03	51,52	45,06	43,53
TiO ₂	нет	0,16	1,50	1,13
Al ₂ O ₃	1,54	1,92	7,73	} 14,05
Fe ₂ O ₃	2,57	2,75	4,81	
Cr ₂ O ₃	—	0,13	—	—
FeO	8,75	9,48	13,36	12,55
MnO	0,26	0,36	0,23	0,46
MgO	12,61	12,24	10,29	9,95
CaO	22,58	20,11	11,66	12,16
Na ₂ O	следы	0,87	1,14	1,02
K ₂ O	—	0,10	0,81	0,70
П. п. п.	0,38	0,27	2,67*	3,25
H ₂ O ^{-110°}	—	0,05	0,53	1,32
Σ	100,72	99,96	99,79	100,12

* Из 2,67% потери при прокаливании 0,37% относятся к потере при нагревании между 110 и 260°.

Пироксен макроскопически темнозеленый, под микроскопом он бледно травянозеленый. Плеохроизм почти отсутствует. $N_g = 1,731 (\pm 0,002)$, $N_p = 1,698 (\pm 0,002)$, $cN_g = 45-46^\circ$.

Пересчет нашего анализа показал, что состав пироксена может быть выражен формулой: $Ca_{1,91}Mg_{0,71}Fe_{0,27}Mn_{0,01}Fe_{0,07}Al_{0,07}Si_{1,95}O_6$. Из формулы видно, что пироксен содержит 71% диопсидового, 20% геденбергитового и 9% более сложного компонента: $Fe_{0,07}Mn_{0,01}Fe_{0,07}Al_{0,07}Si_{0,15}O_{0,6}$. Близкие результаты, за вычетом 10% амфибола и отбрасывания 0,75% Na_2O , получаются и при пересчете анализа Г. Н. Бунтина.

Амфибол макроскопически темнозеленый, почти черный, под микроскопом обнаруживает сильный плеохроизм; изумрудно-зеленый, чуть голубоватый по N_g , ярко зеленый по N_m и желто-зеленый по N_p . $N_g = 1,687 (\pm 0,002)$, $N_p = 1,668 (\pm 0,002)$, $cN_g = 19^\circ$.

Пересчет анализа (табл. 1, гр. 3) показал, что состав амфибола может быть выражен формулой: $\text{Na}_{0,34}\text{K}_{0,14}\text{Ca}_{1,89}\text{Mg}_{2,33}\text{Mn}_{0,13}\text{Fe}^{2+}_{1,69}\text{Fe}^{3+}_{0,55}\text{Al}_{0,17}\text{Ti}_{0,17}[\text{Si}_{6,81}\text{Al}_{1,19}\text{O}_{22}](\text{OH})_2$.

Из этой формулы видно, что амфибол содержит 80,4% тремолито-актинолитового компонента с отношением 58% тремолита, 42% актинолита и 19,6% более сложного компонента $(\text{Na}, \text{K})_{0,48}\text{Ca}_{0,24}\text{Fe}^{2+}_{0,55}\text{Al}_{0,17}\text{Ti}_{0,17}[\text{Si}_{0,33}\text{Al}_{1,19}\text{O}_{4,32}](\text{OH})_{0,4}$. Сравнение с анализом Л. Н. Никулиной показывает, что существенных различий в составе амфиболов, развивающихся по пироксену (табл. 1, гр. 3) и образующих хорошие кристаллы (табл. 1, гр. 4), нет. Приведенные данные показывают, что амфибол Порожечной вараки может быть отнесен к обыкновенной роговой обманке.

Сравнивая химический состав пироксена и роговой обманки, необходимо отметить отсутствие в пироксене титана (проверялось трижды) и сравнительно малое содержание в нем алюминия и железа.

Данные химических анализов пироксена и амфибола и реально наблюдаемые между ними взаимоотношения позволяют нарисовать следующую картину процесса амфиболизации пироксена.

Образование актинолита по диопсиду, согласно кристаллохимическим представлениям ⁽⁴⁾, может быть выражено так: $\text{Ca}_4\text{Mg}_4[\text{Si}_8\text{O}_{24}] + \text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}_2\text{Mg}_3[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2 + 2\text{CaO}$.

Одновременно с обменом 2CaO на $\text{Mg}(\text{OH})_2$ кремнеземистые цепочки пироксена путем взаимного перемещения в плоскости (010) на половинное расстояние элементарной ячейки вдоль оси *a* (на 4,44 Å) и *c* (на 4,85 Å) сцепляются в пояса. В результате этого сцепления один атом кислорода из каждых 12 как бы выталкивается из связи с кремнием и попадает в середину кольца, состоящего из 6 кремнекислородных тетраэдров, образуя группу OH^- . Причиной первого процесса, вероятно, является стремление кремнеземистой основы к полимеризации ⁽²⁾, а второго — стремление кислорода к сохранению однозарядного и одновалентного состояния своих связей ⁽¹⁾.

Попробуем теперь произвести сравнение реального состава пироксена и развивающегося по нему амфибола. Если произвести арифметическое вычитание из учетверенной формулы пироксена формулы роговой обманки (см. выше), то обнаруживается, что для образования роговой обманки недостает: 0,34Na, 0,14K, 0,61Fe²⁺, 0,27Fe³⁺, 1,08Al, 0,17Ti, 2H. Наоборот, в избытке оказывается: 1,75Ca, 0,51Mg, 1,03Si. Аналогичные результаты получаются и из другой пары анализов (табл. 1, гр. 2 и 4).

Из приведенных сопоставлений видно, что при амфиболизации пироксена, несомненно, привносится весь H, Na, K и Ti, большая часть Al, заметное количество Fe²⁺ и Fe³⁺. Несомненно, выносятся Ca. Несколько уменьшается Mg и Si, однако это уменьшение лишь кажущееся, так как отношение Mg к Si в пироксене и роговой обманке не изменяется. Это уменьшение свидетельствует лишь о снижении удельного значения Mg и Si вследствие привноса H₂O, Al₂O₃ и TiO₂, не компенсируемого выносом.

Исходя из реального состава диопсида и роговой обманки и их удельных весов, соответственно равных 3,327 и 3,231, получаем, что молекулярный объем диопсида равен 271,3, а роговой обманки 276,3. Следовательно, при амфиболизации происходит некоторое увеличение объема. Однако действительное увеличение объема значительно больше. Расчеты показывают, что вынос Ca компенсируется привносом Fe²⁺, Fe³⁺, Na и K (катионный обмен). Привнос же H, Al и, вероятно, Ti требует и увеличения кислорода, общее количество которого должно быть равно примерно 3 атомам из каждых 24 атомов роговой обманки. Таким образом, привнос H, Al и Ti, вероятно, следует при-

нимать как привнос H_2O , Al_2O_3 и TiO_2 . Истинное увеличение объема составляет около 12—13%.

Обратимся теперь к вопросу, откуда берутся H_2O , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe^{II} , Fe^{III} , Na и K, необходимые для образования роговой обманки. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо принять во внимание, что: 1) в жилах имеется много плагиоклаза; 2) жилы залегают в сильно измененной основной породе и 3) вмещающими для основной породы являются мигматиты.

Рассматривая первое обстоятельство, следует указать, что плагиоклаз, как правило, сильно изменен. Он обычно серицитизирован, карбонатизирован, местами эпидотизирован и пелитизирован. Если серицитизация и карбонатизация одновременны с периодом амфиболизации (а это так), то легко предположить, что источником глинозема для роговой обманки является изменяющийся плагиоклаз.

Рассматривая второе обстоятельство, необходимо отметить, что как близ контактов вмещающей породы, так и в сохранившихся частях ксенолитов наблюдается тот же процесс амфиболизации, но наряду с амфиболизацией имеет место интенсивный процесс сфенизации ильменита. Нет данных разрывать время амфиболизации пироксена в жилах и амфиболизации вмещающей породы, идущей параллельно со сфенизацией, и поэтому можно предположить, что источником титана и части железа являются вмещающая порода и ксенолиты, в которых было довольно много ильменита.

Рассматривая третье обстоятельство, можно утверждать, что именно с явлениями мигматизации или гранитизации связано как появление самих пегматитовых жил и пироксенизации основной породы (в один из первых высокотемпературных этапов этого процесса), так и появление гидротермальных растворов, вызывающих явления амфиболизации, изменения плагиоклаза и сфенизации. Эти гидротермальные растворы, очевидно, несли щелочи и уголекислоту, выносили из пироксена Ca и транспортировали Al_2O_3 , Fe^{II} , Fe^{III} и TiO_2 .

Суммируя все вышесказанное, следует отметить, что процесс амфиболизации пироксена в изученном случае указывает на значительное перераспределение элементов между различными ранее существовавшими минералами. Это перераспределение охватывает не только минералы одного геологического тела, например пегматитовой жилы (случай с Al_2O_3), но и минералы различных геологических тел, например пегматитовых жил и вмещающих их основных пород (случай с TiO_2 , Fe^{II} и Fe^{III}).

Переноса сделанные наблюдения на амфиболизацию основных пород в зоне глубокого метаморфизма, необходимо отметить, что те случаи амфиболизации основных пород, которые сопровождаются деаортризацией плагиоклаза (а это наблюдается часто), исчезновением граната или даже появлением небольших количеств кварца, вовсе не свидетельствуют о так называемом кварцевом метасоматозе, как это считалось обязательным⁽³⁾. Эти случаи амфиболизации и сопровождающие их явления говорят лишь о перераспределении ряда элементов, в первую очередь алюминия, внутри породы, о незначительном привносе щелочей в породу и выносе в одних случаях Ca, а в других случаях, для более основных пород, Mg и, может быть, Fe как элементов сравнительно подвижных, под действием гидротермальных растворов, содержащих уголекислоту.

Поступило
5 VII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Лебедев, Вестн. Ленинградск. ун-та, № 3 (1948). ² В. И. Лебедев, там же, № 9 (1949). ³ Н. Г. Судовиков, Тр. Ленингр. геол. упр., в. 19 (1939).
⁴ Е. Шибольд, Основные идеи геохимии, в. 3 (1937).