

А. С. ПОВАРЕННЫХ

К ВОПРОСУ О ЦЕОЛИТИЗАЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком А. Г. Бетехтиным 3 XII 1953)

Процессы гипогенной цеолитизации интрузивных щелочных пород подразделяются, как известно, на два рода (², ¹⁰): 1) автогидролитическая цеолитизация, связанная с последними стадиями кристаллизации щелочной магмы; 2) гидротермальная цеолитизация, обусловленная воздействием на щелочные породы горячих водных растворов, продвигающихся по открытым трещинам.

В настоящей работе мы остановимся на обсуждении некоторых характерных явлений, наблюдающихся при процессе автогидролитической цеолитизации щелочных пород, которые позволяют нам выявить определенные закономерности в ходе этого процесса.

Микроскопическим изучением ряда щелочных пород было установлено широкое развитие в них процесса цеолитизации, достигающего в отдельных участках очень большой интенсивности. Так как большинство изученных образцов было взято с относительно больших глубин, мы полагаем, что влияние процессов экзогенного изменения пород здесь почти не сказалось.

Замещению цеолитами подверглись следующие породообразующие минералы: нефелин, альбит, микроклин-пертит и содалит. Цеолиты представлены почти исключительно натролитом и анальцимом. В виде звездчатых агрегатов изредка встречается еще цеолит типа томсонита (положительный, $N_g = 1,533$, двупреломление около 0,015). К сожалению, в связи с техническими трудностями химического анализа точный состав всех этих минералов не был определен. Однако некоторые косвенные указания на этот счет получены путем оптических исследований минеральных индивидов в шлифах и протолочках.

Нефелин, судя по показателям преломления, значительно обогащен калием. Определения констант (8 измерений) дали: $N_g = 1,541-1,548$; $N_p = 1,537-1,544$. По диаграмме Винчелла (³) это указывает на присутствие в составе нефелина 20—30% $K_2Al_2Si_2O_8$.

Альбит, как правило, почти без примеси кальция; дает простые и полисинтетические двойники по альбитовому закону: $N_g = 1,536-1,538$; $N_p = 1,526-1,527$; $N_g - N_p = 0,010-0,011$, $2V = 74-78^\circ$.

Микроклин-пертит значительно обогащен натрием за счет обильных пертитовых вростков существенно альбитового состава. Показатели преломления его (6 измерений): $N_g = 1,524-1,527$; $N_p = 1,518-1,521$; $N_g - N_p = 0,006$, $2V = -82^\circ$.

Натролит двуосен, положителен; $N_g = 1,486-1,489$; $N_p = 1,478-1,481$; $N_g - N_p = 0,008$, $2V = +60^\circ$. Вероятно, содержит калий.

Анальцим изотропен, изредка слабо двупреломляет (зерна распадаются на секториальные участки). Показатель преломления заметно гарьрирует: $N = 1,480-1,487$ (по данным 5 измерений). Наиболее низкие значения показателя преломления (1,480—1,481) характерны

для анальцима, замещающего микроклин-пертит, что мы связываем с обилием в его составе калия*, понижающего преломление света в натровых минералах (3).

Процесс цеолитизации первичных алюмосиликатов отличается следующими особенностями. Самым податливым из всех является нефелин. Замещение его цеолитами начинается с периферии и по трещинкам, затем распространяется на все зерно. Наиболее активно в большинстве случаев замещение развивается на контактах (стыках) зерен нефелина и альбита, нефелина и микроклин-пертита (см. рис. 1). Обособленные индивиды заметно более устойчивы, в связи с чем в одном и том же штуфе породы мы нередко находим, наряду с сильно измененным нефелином, почти совершенно свежие его зерна. Альбит и микроклин лучше сопротивляются процессу цеолитизации и в виде обособленных индивидов обыкновенно реже подвергаются изменению. Микроклин обычно немного серицитизируется.



Рис. 1. Развитие процесса цеолитизации алюмосиликатов щелочной породы по трещинкам и границам зерен; $\times 30$

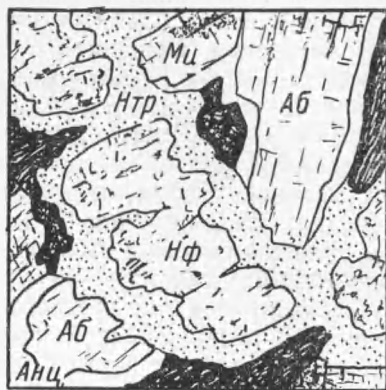


Рис. 2. Реакционные каймы цеолитов вокруг зерен нефелина и альбита. Зарисовка части шлифа; $\times 64$

В количественном развитии натролит обычно преобладает над анальцимом. Однако нами было замечено, что натролит доминирует преимущественно в тех породах, которые богаты нефелином, и наоборот, в породах с значительным количеством полевшпатов развивается анальцим. На этот факт указывали и другие исследователи щелочных пород (1). Нами был произведен приблизительный количественный подсчет алюмосиликатов и замещающих их цеолитов с соответствующей генетической привязкой последних. Это оказалось выполнимо лишь в слабо измененных породах, поскольку в них старые контуры частично замещенных зерен довольно хорошо видны. Результаты подсчета, приведенные в табл. 1, в целом подтверждают эту зависимость между составом цеолита и отношением нефелина к полевым шпатам.

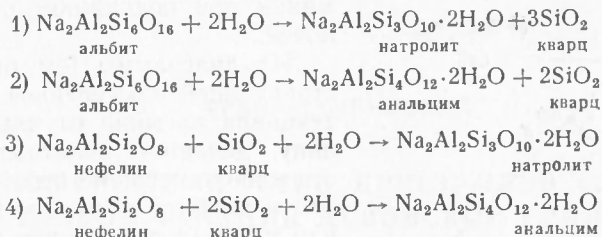
Кроме того, установлено (см. также табл. 1), что нефелин замещается преимущественно натролитом, а альбит и микроклин-перит — анальцимом. Последнее отчетливее всего проявляется в тех зернах нефелина и полевых шпатов, которые не соприкасаются между собой. В этих случаях нередко наблюдается весьма любопытная картина периферического замещения индивидов в виде реакционных каемок натролитового состава на нефелине и анальцимового — на альбите (см. рис. 2).

Следует подчеркнуть, что процесс замещения первичных минералов цеолитами не сопровождается появлением таких побочных минералов,

* В природе известны анальцимы с содержанием K_2O до 10% (11).

как кварц, халцедон, диаспор и гидраргиллит, о которых упоминают А. Н. Лабунцов (7, 8) и Н. Н. Гуткова (4) в связи с описанием шпреуштейнизации щелочных пород. Кстати, недавно было показано, что за халцедон нередко принимают скрытокристаллический натролит (6).

Перейдем теперь к анализу приведенных фактов. Прежде всего разберем химизм реакций цеолитизации главных минералов — нефелина и альбита. Эти реакции могут быть выражены следующими схематическими уравнениями:



Как видно из этих уравнений, процессы гидролиза альбита и нефелина коренным образом отличаются один от другого. В то время как цеолитизация альбита сопровождается выделением большего или меньшего количества свободного кремнезема, превращение в цеолиты нефелина, напротив, идет только с поглощением дополнительного кремнезема.

Таблица 4

Количественные соотношения и связь между алюмосиликатами и замещающими их цеолитами некоторых щелочных пород*

№№ шлифов	Колич. алюмосиликатов в породе в %			Колич. цеолитов в %		и з н их					
	нефелин	альбит	микроклин	натролит	анальцим	по нефелину		по альбиту		по микроклину	
						втр.	анц.	втр.	анц.	втр.	анц.
1	27,8	14,6	22,4	4,4	13,1	4,4	1,0	—	8,8	—	3,3
4	29,1	6,9	19,2	6,2	11,3	5,8	0,5	0,4	7,0	—	3,8
22	23,5	4,4	8,3	9,6	5,8	7,8	1,4	1,5	3,2	0,3	1,2
29	35,2	6,2	10,3	10,2	4,1	8,0	0,6	1,8	2,5	0,4	1,0
146	57,1	18,4	3,1	5,1	1,0	4,4	0,1	0,6	0,8	0,1	0,1
157	62,2	14,1	—	10,6	—	7,1	—	3,5	—	—	—

* Подсчет произведен на интеграционном столике М. Н. Никифоровой.

Конечно, можно представить реакцию превращения нефелина в натролит или анальцим и другим способом, а именно, прибегая к допущению, что наряду с его гидролизом происходит вынос части содержащихся в нем глинозема и щелочей. Но тогда, в условиях замкнутой системы, на месте обязательно должны остаться продукты выноса или возникнуть новообразования, которых, как указывалось выше, мы не обнаружили. Таким образом, необходимо принять, что кремнезем при гидролизе нефелина поступает извне. Предположение, что таким источником являются сами водные растворы автогидролитической стадии, приходится отвергнуть, поскольку в этом случае альбит оказался бы столь же устойчивым, как при автогидролизе гранитоидов (9), или по меньшей мере превращался бы в цеолит близкого к нему состава (типа стильбита-морденита).

Единственно правильным, по нашему мнению, является представление об автогидролитической цеолитизации, как о контакт-реакционном процессе биметасоматического типа, при котором в условиях гидролиза

смежных минералов различного состава происходит выравнивание химических потенциалов содержащихся в них малоподвижных элементов (5). Таким малоподвижным элементом в рассматриваемом случае является кремний, различные потенциалы которого в альбите (кальците) и нефелине являются причиной его миграции от первого ко второму. Следова-

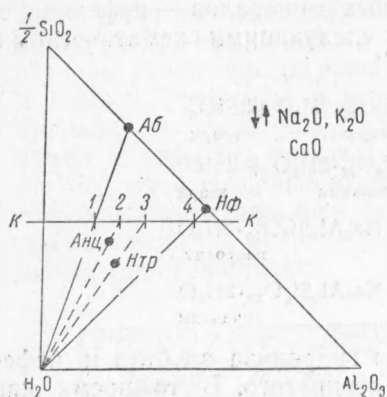
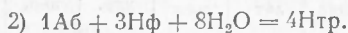


Рис. 3. Диаграмма состав — парагенезис системы $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$, иллюстрирующая постепенное изменение потенциала Si от альбита к нефелину (точки 1, 2, 3 и 4 на линии K—K')

тельно, процесс цеолитизации сводится к гидролизу алюмосиликатов и перераспределению в них кремния и алюминия при подвижном поведении щелочей.

Из диаграммы (см. рис. 3), иллюстрирующей постепенное падение потенциала кремния от альбита к нефелину, делается понятным преимущественное замещение нефелина натролитом и альбита анальцитом. Связь этих пар минералов, особенно в изолированных зернах, объясняется близостью значений их Si-потенциалов, что соответствует наименьшей энергии изменения. Однако с повышением интенсивности автогидролитического изменения пород, учитывая при этом некоторую подвижность кремнезема, все большую роль начинает играть закон действующих масс, т. е. состав окончательного

продукта изменения все более начинает зависеть от количественного соотношения исходных минералов — нефелина и альбита (точнее, шпатов). Из вышеприведенных уравнений (или диаграммы рис. 3) легко вывести два следующих равенства:



Эти равенства, хотя и в упрощенном виде, верно отражают природный процесс. Действительно, в результате гидролиза пород, богатых K—Na полевыми шпатами (например, фояитов), мы видим преобладающее развитие анальцита, продуктом же гидролиза богатых нефелином пород (например, уртитов) является, как правило, натролит.

Рассматривая в связи с этим широко распространенный в природе процесс натролитизации (шпреуштейнизации) нефелина щелочных пород, сопровождающийся парагенезисом гидратов алюминия и свободного кремнезема, мы полагаем, что он свидетельствует об условиях относительно открытой системы. Такие условия ближе всего соответствуют физико-химической обстановке экзогенного процесса.

Криворожский горнорудный институт

Поступило
22 VIII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. М. Бонштедт, Нефелин. Минералы Хибинских и Ловозерских тундр, 1937.
² В. И. Вернадский, С. М. Курбатов, Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги, 1937. ³ А. Н. Винчелл, Оптическая минералогия, 1939. ⁴ Н. Н. Гудкова, Тр. СОПС, кольск. сер., 8 (1934). ⁵ Д. С. Коржинский, Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, в. 29, петр. сер., № 10 (1947). ⁶ М. В. Кузьменко, ДАН, 72, № 4 (1950). ⁷ А. Н. Лабунцов, Тр. геол. и мин. музея АН СССР, 2 (1925).
⁸ А. Н. Лабунцов, там же, 2 (1927). ⁹ А. С. Поваренных, Мин. сборн. Львовск. геол. общ., № 4 (1950). ¹⁰ А. Е. Ферсман, Тр. геол. и мин. музея АН, 2, в. 7, (1916). ¹¹ С. Hintze, Handb. d. Mineralogie, 2, 1915.