

В. С. САМОЙЛОВ

**О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ
НА КИСЛОТНОСТЬ — ЩЕЛОЧНОСТЬ
КАРБОНАТИТООБРАЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 8 X 1974)

Д. С. Коржинским было установлено, что в процессах постмагматического преобразования горных пород обычно проявлено волнообразное изменение кислотности — щелочности воздействующих растворов по мере падения температуры (T) (¹): первоначально фиксируется раскисление этих растворов с дальнейшим, в низкотемпературной области, их подщелачиванием. Температурная «волна кислотности» отчетливо проявлена в постмагматических процессах, генетически связанных с формированием гранитоидных массивов. Д. С. Коржинским (²) было отмечено, что стадия кислотного выщелачивания, хотя и своеобразно, но проявлена и в массивах основных и щелочных пород. Однако в целом закономерности эволюции кислотности — щелочности гидротермальных растворов, генетически связанных с щелочными магмами, изучены еще недостаточно.

Карбонатиты, генетически связанные с ультраосновными, щелочными породами, известны во многих районах мира, обнаруживая четкую связь с глубинными разломами платформ и обрамляющих их областей завершенной складчатости. Карбонатитовые массивы группируются в провинции, которые различаются как по пространственному расположению относительно главнейших структур земной коры, так и в отношении их структурно-генетической позиции (³⁻⁵). Однако, несмотря на специфичность проявления карбонатитов в разных массивах, четко намечается единая направленность эволюции состава карбонатитов во времени со сменой кальцитовых карбонатитов доломитовыми и анкеритовыми (сидеритовыми). При этом на поздних стадиях процесса карбонатитообразования формируются флюорит- и кварцсодержащие карбонатиты, а в ряде случаев — кварцевые жилы или даже мощные зоны силификации. Весьма часто вслед за этими породами и карбонатитами образуются цеолитовые породы. Все это косвенно указывает на проявление температурной «волны кислотности» в карбонатитообразующих растворах.

Еще более отчетливо явление это устанавливается при систематическом изучении минеральных парагенезисов и генетически связанных с ними пород, относящихся к разным температурным фациям. Выделяются следующие температурные фации карбонатитов (^{6, 7}): калишпат-кальцитовая ($T \geq 530-550^\circ \text{C}$), альбит-кальцитовая ($420-550^\circ$), амфибол-доломит-кальцитовая ($300-420^\circ$), серицит-хлорит-анкеритовая ($200-330^\circ$) и цеолитовая ($T \leq 200-250^\circ$). Данные о минеральном составе метасоматитов каждой фации приведены в табл. 1. Эти данные несомненно свидетельствуют о закономерном волнообразном изменении кислотности — щелочности карбонатитообразующих растворов. Показательна в этом плане смена не только карбонатов, но и алюмосиликатов. Так, в наиболее высокотемпературных условиях устойчив нефелин; при понижении температуры он последовательно сменяется канкринитом, затем мусковитом — серицитом и, наконец, цеолитами. Аналогично высокотемпературный калиевый полевой шпат сменяется альбитом, а тот, в свою очередь, серицитом (\pm кварц); в породах

цеолитовой фации снова устойчивы альбит или калиевый полевой шпат. На раскисление карбонатитообразующих растворов при формировании собственно карбонатитов указывают смелы других породообразующих минералов (пироксенов, амфиболов, магниезальных силикатов и др.), а также акцессориев (перовскит — дизаналит — луэшит (ильменит), бадделит — циркон).

Т а б л и ц а 1

Минеральный состав карбонатитов и генетически связанных с ними пород

Калишпат-кальцитовая фация	Альбит-кальцитовая фация	Амфибол-доломит-кальцитовая фация	Серицит-хлорит-анкеритовая фация	Цеолитовая фация
Кальцит	Кальцит	Кальцит, доломит	Доломит, анкерит	Кальцит, барито-кальцит
Калишпат	Альбит	Альбит	Сидерит, кальцит	Альбит, калишпат
Нефелин	Канкринит	Мусковит	Альбит, серицит	Цеолиты, анальцит
Шорломит	Андрадит	Флогопит, биотит	Хлорит	Канкринит, социлит, мусковит
Диопсид-эгирит	Диопсид, диопсид-эгирин	Эгирин	Эгирин	Эгирин
Флогопит, биотит	Флогопит, биотит	Магнетит, пирротин	Гематит, пирит	Эпидот
Магнетит	Магнетит, пирротин	Пирит	Стильпномелан	Серпентин
Форстерит	Форстерит	Серпентин, тальк	Кварц	Магнезпорибекит
Монтичеллит	Клиногумит	Клиногумит	Флюорит, барит	
Мелилит	Арфведсонит	Рихтерит, экерманит-арфведсонит	Арфведсонит-рибекит	
Волластонит	Волластонит			
Перовскит	Дизаналит	Сфен, ильменит	Ильменит, рутил	Ильменит
Кальциртит	Бадделит, циркелит	Циркон, рутил, анатаз	Анатаз, циркон	Циркон
Сфен, циркон	Гатчеттолит-пирохлор	Пирохлор	Пирохлор, ферсмит	
	Рутил, сфен, циркон	Луэшит, эпинит	Колумбит	
	Астрофиллит		Редкоземельные карбонаты, монацит	

В случае минералов переменного состава необходимо учитывать особенности распределения компонентов между сосуществующими минералами переменного состава в зависимости от T . В частности, при понижении T в парагенезисе с все более железистым пироксеном находится все более магниезальная слюда. Кроме того, железистость темноцветных минералов является важным показателем кислотности — щелочности минералообразующей среды (⁸), что позволяет независимым путем более объективно оценить закономерности изменения кислотности — щелочности воздействующих растворов по мере падения T . Подобные исследования были проведены в ряде массивов Восточной Сибири, и было показано, что при падении T до 200—250° происходило раскисление карбонатитообразующих растворов. При высоких T щелочность этих растворов была близка к щелочности поровых растворов, равновесных с породами нефелин-пироксенового или сиенитового состава, тогда как в T -условиях серицит-хлорит-анкеритовой фации кислотность воздействующих растворов была близка к кислотности поровых растворов, равновесных с кварц-серицитовыми станцами или породами гранитоидного состава (⁹). В породах цеолитовой фации подобные исследования не проводились по ряду объективных причин. Однако несомненно, что цеолитовые парагенезисы этой фации образовались в условиях более высокого рН воздействующих растворов, нежели кварцсодержащие анкеритовые карбонатиты или существенно кварцевые породы серицит-хлорит-анкеритовой фации.

Таким образом, температурная «волна кислотности» проявлена и в случае формирования карбонатитов, генетически связанных с щелочно-ультраосновными магмами. Растворы, генетически связанные с гранитоидными

магмами, не являются в этом плане исключением, и, видимо, эффект «кислотной волны» имеет феноменологическое значение (10).

В случае карбонатитообразующих растворов температурная «волна кислотности» проявляется резче, чем в случае растворов, генетически связанных с гранитоидными магмами.

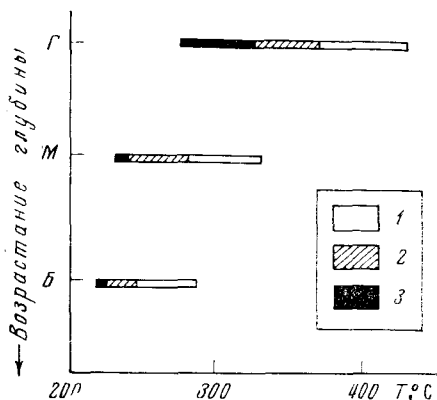


Рис. 1. Температуры формирования метасоматитов серицит-хлорит-анкеритовой фации, образовавшихся на разных глубинах. Г — Гулинский массив, М — Малосаянский массив, Б — Большесаянский массив; 1 — бескварцевые доломитовые и анкеритовые карбонаты, 2 — кварцсодержащие карбонаты, 3 — существенно кварцевые породы

В самом деле, при высоких T ($>550^\circ$) карбонатитообразующие растворы определяются высоким уровнем щелочности, соответствующим щелочности поровых растворов нефелин-пироксеновых пород. По мере падения T щелочность заметно падает и при $T=200-330^\circ$ близка к кислотности растворов, равновесных с породами гранитоидного состава или кварц-серицитовым сланцами. При этом широкое развитие получают анкеритовые карбонаты с серицитом, хлоритом, кварцем, пиритом, качественно тождественные березитам, которые формируются при pH 2,8—5,7 (среднее 4,3), т. е. в кислотной или слабощелочной обстановке (11). Еще в более кислотных условиях, видимо, образуются существенно кварцевые породы, особенно характерные для многих малоглубинных комплексов.

Следовательно, стадия кислотного выщелачивания (по Д. С. Коржинскому) проявлена и в карбонатитовых массивах. Отвечает этой стадии формирование пород серицит-хлорит-анкеритовой фации — доломитовых, анкеритовых карбонатов, существенно кварцевых пород. Проявление температурной «волны кислотности» повсеместно указывает на важную роль гидротермальных растворов при формировании карбонатитов и возможный гидротермально-метасоматический генезис этих пород. Речь, несомненно, идет об относительно низкотемпературных карбонатитах — доломитовых, анкеритовых, сидеритовых, включая разности, обогащенные флюоритом, баритом и тем более кварцем.

Ранее было показано (12), что возрастание давления (P) и, видимо, глубины должно вызывать смещение максимума кислотности воздействующих растворов в область все меньших значений T , одновременно приводя (при $P \leq 2-3$ кбар) к подщелачиванию этих растворов. В связи с этим при понижении P и, видимо, глубины, в карбонатитовых массивах возможно проявление следующих тенденций: а) все большее развитие будут, в общем, получать породы, образующиеся в стадию кислотного выщелачивания, — роль процессов этой стадии должна возрастать; б) T -диапазон формирования пород стадии кислотного выщелачивания должен расширяться, причем наиболее кислотные образования (типа кварцсодержащих и существенно кварцевых пород), по условиям кислотности наиболее близкие к максимуму последней, будут характеризоваться все большими значениями температуры. Первая тенденция несомненно имеет место при карбонатитообразовании. Доломитовые, анкеритовые, сидеритовые карбонаты в целом максимально развиты в малоглубинных условиях, сопровождаясь зонами силификации (часто весьма интенсивной), тогда как в более глубинных комплексах сидерит не встречен, а кварц наблюдается в анкеритовых карбонатитах в незначительных количествах.

Во втором случае была проведена термометрия пород, формировавшихся в стадию кислотного выщелачивания в массивах разной глубины (в па-

правлении уменьшения последней): Большесаянского, Малосаянского (Восточно-Саянская провинция) и Гулинского (Маймеча-Котуйская провинция). В первых двух массивах в стадии кислотного выщелачивания образовались доломитовые и анкеритовые карбонатиты, в том числе кварцсодержащие, а в Гулинском массиве — доломитовые, кварц-доломитовые карбонатиты и существенно кварцевые породы. Данные по термометрии всех этих пород (методами гомогенизации и декрепитации) приведены на рис. 1. Эти данные свидетельствуют о том, что и вторая тенденция имеет место при формировании карбонатитов. С уменьшением глубины температурный диапазон образования пород стадии кислотного выщелачивания расширяется (разность температур меняется от 65 до 155°, а максимальная температура формирования от 285 до 430°). Соответственно возрастает средняя температура образования кварцсодержащих пород (от 235 до 320°). Очевидно, подобные взаимосвязи между P (и, видимо, глубиной) и кислотностью воздействующих растворов можно в дальнейшем использовать для определения относительной глубины формирования метасоматических пород, в том числе и карбонатитов.

Институт геохимии
Сибирского отделения Академии наук СССР
Иркутск

Поступило
25 VI 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. С. Коржинский, В кн.: Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях, М., 1953. ² Д. С. Коржинский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 12, 10 (1957). ³ Ю. М. Шейнманн, Ф. Р. Апельцин, Е. А. Нечаева, Геология месторождений редких элементов, в. 12—13, М., 1961. ⁴ А. И. Гинзбург, Е. М. Эпштейн, В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений, М., 1968. ⁵ А. А. Фролов, Геотектоника, № 3, 59 (1973). ⁶ В. С. Самойлов, Л. К. Пожарицкая, ДАН, т. 188, № 6, 1368 (1969). ⁷ В. С. Самойлов, Л. К. Пожарицкая, В кн.: Метасоматизм и рудообразование, Л., 1972. ⁸ В. С. Самойлов, ДАН, т. 177, № 6, 1452 (1967). ⁹ Л. К. Пожарицкая, В. С. Самойлов, Петрология, минералогия и геохимия карбонатитов Восточной Сибири, М., 1972. ¹⁰ В. С. Самойлов, Ю. В. Алехин, В кн.: Ежегодник-1970 СибГЕОХИ, Иркутск, 1971. ¹¹ Б. И. Омеляненко, В кн.: Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии, М., 1968. ¹² В. С. Самойлов, В кн.: Ежегодник-1971. СибГЕОХИ, Иркутск, 1972.