

УДК 553.065.5

И. П. ЩЕРБАНЬ

## О ПОЛОЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ НИЗКО- И СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫМИ ФОРМАЦИЯМИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД

(Представлено академиком В. С. Соболевым 7 IV 1970)

Низко- и среднетемпературная стадия процесса метасоматического преобразования пород выделены впервые Д. С. Коржинским, по которому к низкотемпературному признаку перехода от среднетемпературной стадии к низкотемпературной можно принять разложение среднетемпературных силикатов, кальция эпидота, пренита, пумпеллита, актинолита и тремолита — при этом становится устойчивой ассоциация любых карбонатов с кварцем (<sup>3</sup>), стр. 439). Если распространить сформулированный принцип на магнезиальные и железистые гидросиликаты, то можно попытаться выделить указанные стадии в большинстве типов метасоматоза и таким образом подразделить соответствующие им формации на две группы: низко- и среднетемпературную. Более того, проведенные в последнее время термодинамические и экспериментальные исследования позволяют определить, разумеется в первом приближении, положение разделяющих температурных границ. Именно эту задачу поставил перед собой автор настоящей статьи.

Поскольку объем статьи не позволяет сколько-нибудь детально остановиться на изложении исходных минералого-петрографических и экспериментальных данных, представляется целесообразным привести их в виде результирующей диаграммы (рис. 1).

Диаграмма построена таким образом, что по ее вертикальной оси отложены в масштабе температуры, а по горизонтальной — главные формации метасоматически измененных пород, причем в нижней части диаграммы располагаются низкотемпературные формации, а непосредственно над ними — соответствующие среднетемпературные. Обоснование выделения большинства формаций, приведенных на диаграмме, изложено в специальных работах (<sup>1, 2</sup>). Поскольку положение температурных границ, разделяющих эти группы формаций, не остается постоянным, а меняется в зависимости от колебания парциального давления углекислоты, интервалы их перемещения можно показать в виде заштрихованных промежутков. При этом на основе геологических данных и материалов, полученных при анализе газовых фаз в газовой-жидких включениях, принято допущение, что парциальное давление углекислоты в процессе образования метасоматически измененных пород не превышало 500 атм. Вертикальные колонки, отведенные отдельным формациям, подразделяются, в свою очередь, на ряд граф, каждая из которых соответствует определенной породе определенного состава, что позволяет показать влияние метасоматических особенностей этих пород на состав конечных продуктов метасоматического преобразования.

Первая колонка, соответствующая низкотемпературной формации березитов-лиственитов и среднетемпературной — кварцево-мусковитовых пород типа грейзенов, разделена на графы, отведенные кислым, основным и ультраосновным породам, а также известнякам. Как можно видеть



в случае низкотемпературных преобразований ультраосновных пород возникают в конечном счете кварцево-магнезитовые метасоматиты, известные под названием лиственитов; основных — кварцево-доломито-мусковитовые породы с приблизительно равным содержанием двух последних минералов; кислых — типичные березиты, состоящие из кварца и мусковита с весьма незначительным количеством карбоната; наконец, известняки подвергаются в большинстве случаев только перекристаллизации

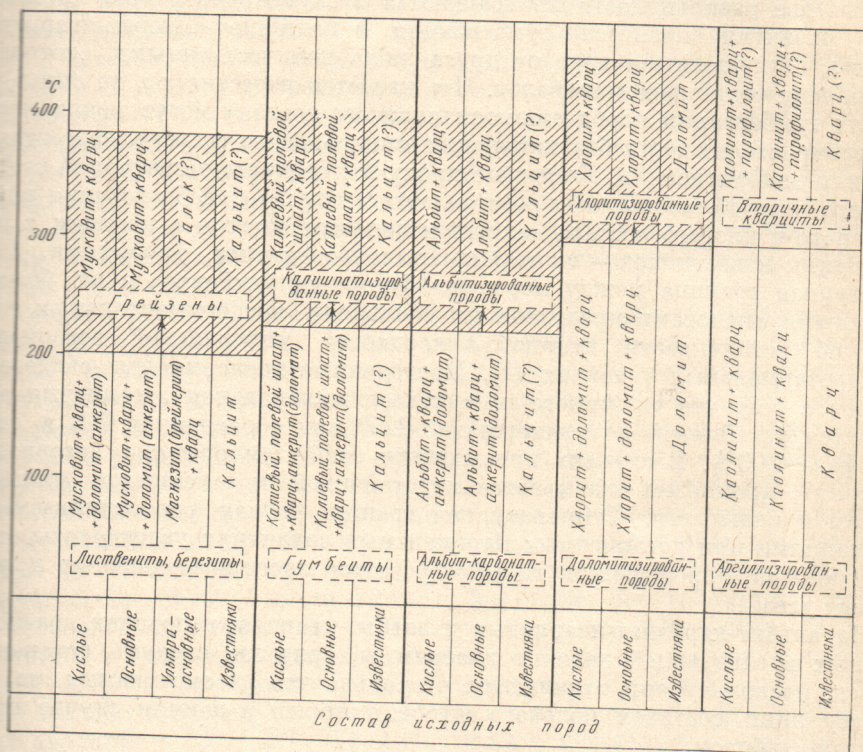


Рис. 1

без изменения минерального состава. Есть, впрочем, данные, свидетельствующие о том, что иногда в процессе описываемых преобразований известняки замещаются анкеритом или доломитом. Преобладание того или иного процесса в преобразовании известняков обусловлено, по-видимому, локальными перераспределениями вещества.

В случае проявления данного типа метасоматоза в среднетемпературных условиях породы кислого и основного состава замещаются в конечном счете кварцево-мусковитовыми образованиями, практически неотличимыми от типичных грейзенов, в то время как ультраосновные породы должны в подобных условиях, судя по экспериментальным данным, преобразоваться в талькиты. Известняки, так же как и в предыдущем случае, подвергаются перекристаллизации, а при наличии в растворе соответствующих компонентов замещаются кварцем и иногда флюоритом. Температурная граница между рассматриваемыми формациями проведена на основании экспериментальных данных, касающихся устойчивости кварцево-магнезитовой минеральной ассоциации, т. е. по существу лиственитов, а следовательно, и их аналогов, развивающихся по породам иного состава. Согласно упомянутым данным, ассоциация магнезит + кварц в случае, если состав газовой фазы в сфере реакции соответствует составу воздуха и таким образом, содержит 0,03% углекислоты, оказывается устойчивой в температуры 200°, выше которой она замещается тальком или серпен-



тином (4). Граница устойчивости данной ассоциации при парциальном давлении  $\text{CO}_2$  500 атм. проведена на основании расчетных данных и является менее надежной.

Вторая колонка, в нижней части которой размещаются породы, относящиеся к формации гумбеитов, а в верхней — их бескарбонатные аналоги — калишпатизированные породы, разделена на три графы, соответствующие исходным породам кислого, основного и карбонатного состава. Первые две разновидности превращаются в случае достаточно интенсивного развития процесса гумбеизации в калишпат-анкерит-кварцевые породы, отличающиеся друг от друга лишь количественными соотношениями перечисленных минералов. Что касается известняков, то они в условиях гумбеизации пород алюмосиликатного состава могут подвергнуться перекристаллизации без изменения минерального состава, доломитизации или анкеритизации. Конечные продукты среднетемпературной стадии данного типа метасоматоза представлены в случае преобразования пород основного и кислого состава калиевым полевым шпатом и кварцем, а при изменении известняков — их перекристаллизованными разновидностями. Температурная граница между породами формации гумбеитов и их бескарбонатными аналогами проведена на основании экспериментальных данных об устойчивости кварцево-анкеритовой минеральной ассоциации в гидротермальных условиях (6). Проведенные эксперименты свидетельствуют о том, что кремнисто-анкеритовая минеральная ассоциация оказывается устойчивой до температуры  $225^\circ$  при содержании  $\text{CO}_2$  в газовой фазе 0,03%. В случаях превышения этой температуры ассоциация анкерит + кремнезем оказывается неустойчивой и замещается миннезотитом и кальцитом. Температурная граница между рассматриваемыми формациями при повышенных парциальных давлениях углекислоты остается пока не определенной из-за отсутствия экспериментальных и расчетных данных.

На альбит-карбонат-кварцевых и альбит-кварцевых породах, расположенных в следующей колонке диаграммы, вряд ли следует останавливаться, поскольку они отличаются от только что рассмотренных по существу лишь составом полевого шпата, который в данном случае представлен альбитом.

В предпоследней колонке расположены низко- и среднетемпературные продукты магнезиального метасоматоза. В низкотемпературных условиях исходные породы основного и кислого состава замещаются кварцево-доломит-хлоритовой ассоциацией, а известняки — доломитом. В среднетемпературных условиях в случае преобразования алюмосиликатных пород образуется ассоциация, представленная хлоритом и кварцем, в то время как известняки в подобных условиях либо подвергаются доломитизации либо — при наличии в них кварца — замещаются тальком или серпентином с кальцитом. Температурная граница между рассмотренными формациями проведена на основании экспериментальных данных, согласно которым ассоциация доломит + кварц устойчива при минимальных значениях  $P_{\text{CO}_2}$  до температуры  $300^\circ$ , выше которой эта ассоциация замещается тальком с кальцитом или тальком, серпентином и кальцитом в зависимости от количественных соотношений  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  и  $\text{SiO}_2$  в исходных пробах (6). Температура замещения данной ассоциации тальком и кальцитом для случая, когда  $P_{\text{CO}_2} = 500$  атм. составляет, по (8),  $\sim 450^\circ$ .

Наконец, в последней колонке диаграммы размещены формации аргиллизированных пород и вторичных кварцитов. В случае развития процессов аргиллизации по породам как основного, так и кислого состава образуются каолинит-кварцевые ассоциации, отличающиеся друг от друга количественными соотношениями этих двух минералов. Известняки при взаимодействии с кислыми растворами оказываются неустойчивыми и замещаются в случае достаточного содержания кремнезема в растворе кварцем. По-видимому, окварцевание карбонатных пород при реакции



ли с растворами, вызывающими аргиллизацию алюмосиликатных образований, не обязательно, хотя сопряженное развитие процессов аргиллизации алюмосиликатных пород и окварцевания карбонатных можно иногда наблюдать даже в пределах одной и той же жилы. В среднетемпературных условиях алюмосиликатные породы также преобразуются при достаточно интенсивном проявлении процесса в кварцево-каолиновые образования, которые, однако, в отличие от аргиллизированных пород нередко содержат то или иное количество пирофиллита. Известняки в подобных условиях должны подвергаться преобразованиям, аналогичным предыдущим. Температурная граница между рассматриваемыми формациями может быть проведена на основании экспериментальных данных, полученных Фольком (7). Они свидетельствуют о том, что при преобразовании алюмосиликатных минералов, и в частности полевого шпата, каолинит образуется до температуры 300°, выше которой вместо него возникает пирофиллит. Поскольку протекание данных реакций не зависит от парциального давления углекислоты, температурная граница между формациями аргиллизированных пород и вторичных кварцитов показана на диаграмме в виде прямой линии.

Таким образом, суммируя изложенное, можно сделать заключение, что положение температурных границ, разделяющих низко- и среднетемпературные формации метасоматически измененных пород, определяется, по существу, двумя факторами: составом карбоната, входящего совместно с кварцем в парагенезисы низкотемпературных формаций, и парциальным давлением углекислоты. Если опираться на экспериментальные данные и результаты термодинамических расчетов по устойчивости кварцево-магнезитовой, кварцево-анкеритовой и кварцево-доломитовой минеральных ассоциаций, то при изменении парциального давления от долей атмосферы до 500 атм. температурный интервал колебания границы перехода формации березитов — лиственинов в формацию бескарбонатных кварцево-мусковитовых пород типа грейзенов составит 200—300°; формаций гумбеитов и альбит-анкеритовых пород — в формации калишпатизированных и альбитизированных пород, не содержащих карбоната, — 225 ÷ 400—450°; доломит-кварцево-хлоритовых пород — в формацию их бескарбонатных аналогов — 300—450°. Граница между формацией гидротермально аргиллизированных пород и формацией вторичных кварцитов должна проходить, согласно экспериментальным данным, при температуре около 300°.

Институт геологии и геофизики  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Новосибирск

Поступило  
27 III 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. А. Жариков, Тр. I конфер. по околорудному метасоматизму, М., 1966.  
<sup>2</sup> Ю. В. Казицын, Тр. I конфер. по околорудному метасоматизму, М., 1966.  
<sup>3</sup> Д. С. Коржинский, В сборн. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях, М., 1953. <sup>4</sup> И. П. Щербань, ДАН, 172, № 2 (1967).  
<sup>5</sup> И. П. Щербань, И. Н. Широких, Геология и геофизика, № 2 (1971). <sup>6</sup> И. П. Щербань, И. Н. Широких, ДАН, 196, № 1 (1971). <sup>7</sup> R. L. Folk, Am. J. Sci., 245, № 6, 388 (1947). <sup>8</sup> P. W. Metz, H. G. Winkler, Geochim. et cosmochim. acta, 27, № 5 (1963).