

Член-корреспондент АН СССР Д. С. КОРЖИНСКИЙ

РАЗЛИЧИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННОЙ И ДИФФУЗИОННОЙ МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ В ОТНОШЕНИИ МИНЕРАЛОВ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

Рассмотрим трехкомпонентную систему: вода (растворитель), трудно растворимый компонент a и легко растворимый компонент f , при постоянных температуре и давлении. Компоненты a и f пусть образуют между собой несколько соединений (минералов) переменного состава. Согласно правилу фаз Гиббса, при произвольной температуре и давлении в такой системе возможно не более трех фаз одновременно, например водный раствор и два минерала, имеющих в этом случае неизменный состав. При равновесии раствора с одним минералом имеется одна степень свободы. Это значит, что в этом случае отношение f/a компонентов в минерале может изменяться в определенном интервале, но только одновременно с соответствующим изменением концентраций этих компонентов в растворе.

Построим график зависимости концентрации C_f компонента f в растворе от отношения содержаний f/a компонентов f и a в минералах системы. Пусть, как показано на рис. 1 и 2, в данной системе в равновесии с раствором устойчивы три минерала переменного состава: минерал P , отношение f/a в котором может изменяться от P_1 до P_3 ; минерал Q состава от Q_1 до Q_2 и минерал R состава от R_1 до R_3 . Поскольку разновидности P_3 и Q_1 минералов P и Q взаимно равновесны, то концентрации C_f для них должны быть равны, т. е. в интервале двуминеральных составов между P_3 и Q_1 линия равновесной концентрации C_f компонента f в растворе должна быть горизонтальна. Точно так же линия концентрации C_f должна быть горизонтальна для двуминеральных составов интервала $Q_3 - R_1$.

Для каждого из минералов в отдельности увеличение отношения f/a должно сопровождаться возрастанием равновесной концентрации C_f в растворе (т. е. $\partial C_f / \partial f > 0$), что вытекает хотя бы из принципа Ле-Шателье. Кроме того, в нормальном случае твердых растворов должно иметь место соотношение $\partial^2 C_f / \partial f^2 > 0$, т. е. с увеличением содержания компонента f в минерале его влияние на концентрацию C_f раствора все более возрастает, так что дальнейшее увеличение содержания в минерале требует все более значительного возрастания концентрации раствора. Отсюда следует, что для каждого из минералов кривая C_f имеет наклон в одну сторону, с подъемом и выпуклостью в сторону возрастающего содержания компонента f в минерале. Это приводит нас к графикам $f/a - C_f$ типа рис. 1 и 2.

На протяжении диффузионной метасоматической колонки концентрация каждого из диффундирующих компонентов должна изменяться непрерывно. Поэтому, если одно из сечений диффузионной мета-

соматической колонки сложено минералом R_3 , а другое минералом P_1 , то между этими сечениями должны образоваться зоны со всеми теми минералами промежуточного состава, которые устойчивы в данной системе при данных условиях. Поэтому для случая диаграмм рис. 1 и 2 диффузионная метасоматическая колонка должна иметь следующее строение:

$$P_1 - P_3 | Q_1 - Q_3 | R_1 - R_3, \quad (1)$$

т. е. образуются три зоны, причем в каждой зоне состав слагающего минерала изменяется непрерывно между крайними составами, возможными для данных минералов в данной системе.

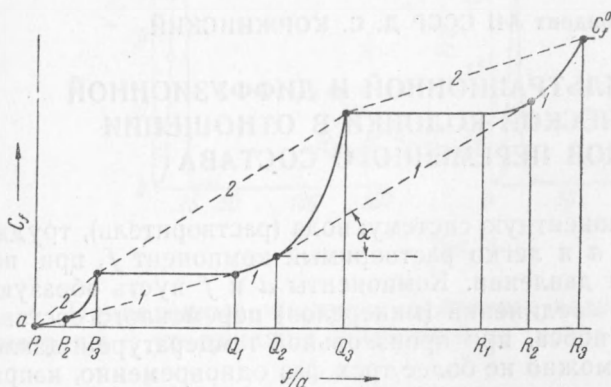


Рис. 1

Иным будет строение инфильтрационной метасоматической колонки. Выведенные ранее уравнения инфильтрационной метасоматической зональности ⁽¹⁾ относились к случаю замещения при постоянном объеме замещаемой породы. Здесь мы ограничимся тем случаем, когда не только общий объем породы, но и давление в ней сохраняет постоянную,

величину. Это возможно в случае замещения пористой породы, когда растворение или осаждение минералов приводит только к изменению пористости. Приближение к условию постоянного давления при постоянном объеме замещаемой породы возможно и в том случае, когда кроме минералов рассматриваемой системы $a - f$ присутствует еще легко растворимый «вполне подвижный избыточный минерал», который при повышении давления в породе легко растворяется и переотлагается и таким образом препятствует возникновению градиентов давления в метасоматической колонке.

Рассмотрим инфильтрационную метасоматическую колонку при данном объеме v_1 раствора, просочившегося через единицу поверхности ее сечения, т. е. возьмем колонку в определенный момент времени. Тогда расстояние вдоль колонки x будет единственной переменной, и основное уравнение инфильтрационной метасоматической колонки получит следующий вид ⁽¹⁾, уравнение (11):

$$\frac{x}{v_1} = \varphi_a \frac{dC_a}{da} = \varphi_f \frac{dC_f}{df}.$$

Но при крайне малой растворимости компонента a выражение $\frac{dC_a}{da} = \frac{0}{0}$ становится неопределенным, и положение данного сечения определяется только уравнением:

$$\frac{x}{v_1} = \varphi_f \frac{dC_f}{df}.$$

Приняв для простоты, что фильтрационный эффект отсутствует ($\varphi_f = 1$) или что его коэффициент φ_f по мере замещения не изме-

няется, мы, в силу допущенного постоянства a и φ_f можем написать:

$$\frac{x}{v_1} = k \frac{dC_f}{d \frac{f}{a}}, \quad (2)$$

где k — постоянная.

Допустим, что нам известно строение какой-либо инфильтрационной метасоматической колонки. Соединив на диаграмме типа рис. 1 и 2 концентрации C_f , соответствующие составам последовательных зон этой колонки, мы получим линию, которую условно назовем «линией концентрации колонки». Угол наклона этой «линии концентрации колонки» к оси абсцисс для любого сечения колонки обозначим как угол α . Так например, на рис. 1 показана величина угла α для контакта между зоной состава R_2 и замещающей ее зоной Q_2 . Принимая во внимание уравнение (2), имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dC_f}{d \frac{f}{a}} = \frac{x}{v_1 k}, \quad (3)$$

т. е. для каждого последующего фронта замещения инфильтрационной метасоматической колонки наклон «линии концентрации колонки» на диаграмме $f/a - C_f$ должен непрерывно возрастать, в соответствии с увеличением расстояния x/v_1 этих фронтов замещения от начала колонки (в сторону просачивания раствора).

Каждый прямолинейный наклонный отрезок «линии концентрации», поскольку он имеет постоянный наклон, соответствует одному определенному фронту замещения (например фронту замещения $R_2 \rightarrow Q_2$). Это правило «возрастающего наклона линии концентрации колонки на диаграмме $f/a - C_f$ » позволяет установить некоторые закономерности в строении инфильтрационных метасоматических колонок.

Если на породу, сложенную минералом R_3 , воздействует раствор с нулевой концентрацией компонента f , то при той зависимости C_f от f/a , которая дана на рис. 1, последовательность зон в инфильтрационной метасоматической колонке может быть только следующая, соответственно линии концентрации I на рис. 1:



(стрелки дают направление просачивания раствора, см. (1, 2)). Только при таком строении колонки удовлетворяется правило возрастающего наклона линии концентрации. Разновидности минералов, не попадающие на эту линию с возрастающим наклоном, например P_3, Q_3, R_1 (рис. 1), в чисто инфильтрационной метасоматической колонке не устойчивы. Действительно, если мы построим «линию концентрации» для колонки, включающей эти составы минералов, то легко будет показать, что в такой колонке задние зоны должны перемещаться по

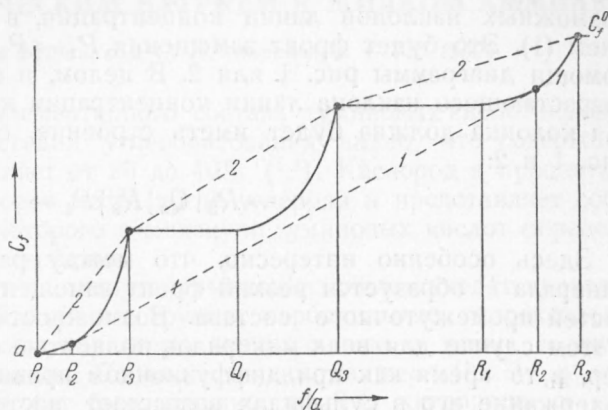
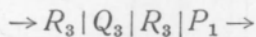


Рис. 2

мере просачивания раствора быстрее передних, т. е. строение такой колонки по мере ее разрастания будет изменяться.

Возможны случаи, когда минерал промежуточного состава, устойчивый в данной системе и образующийся в диффузионной метасоматической колонке, при инфильтрации может оказаться неустойчивым. Такой случай показан линией 1 на рис. 2. Здесь минерал R при воздействии раствора с нулевой концентрацией компонента f непосредственно замещается минералом $P_2 - P_1$, без образования минерала промежуточного состава Q . Если просачивание раствора идет достаточно медленно, то инфильтрация может сочетаться с диффузией, которая приведет к частичному образованию зоны минерала Q .

Пусть теперь на породу, сложенную минералом P_1 , т. е. одним компонентом a , воздействует раствор с высокой концентрацией C_f^0 компонента f (рис. 1 и 2). Дальше всего от начала колонки продвинется фронт замещения, которому соответствует наиболее крутой из возможных наклонов линии концентрации, в соответствии с уравнением (1). Это будет фронт замещения $P_1 \rightarrow P_3$, как легко видеть при помощи диаграммы рис. 1 или 2. В целом, в соответствии с правилом возрастающего наклона линии концентрации колонки, инфильтрационная колонка должна будет иметь строение, отмеченное линией 2 на рис. 1 и 2:



Здесь особенно интересно, что между разновидностями P_1 и P_3 минерала P образуется резкий фронт замещения, без образования разновидностей промежуточного состава. Возможность переменности состава в этом случае для всех минералов полностью исключается. Так например, в то время как при диффузионном привносе раствором кобальта содержание его в сульфидах возрастает постепенно, при инфильтрационном метасоматозе следует ожидать резкого контакта между чистым сульфидом, например пирротинном, и замещающим его пиррстином, богатым кобальтом.

Таким образом, сравнительно с диффузионной метасоматической колонкой, инфильтрационная колонка должна отличаться гораздо более узкими пределами переменности состава минералов, особенно при замещении с привносом компонентов, дающих соединения переменного состава. В инфильтрационной колонке могут отсутствовать зоны минералов промежуточного состава, обязательные для диффузионных колонок. Эти различия, выведенные здесь для простейшего случая, несомненно, сохраняются и для более сложных случаев многокомпонентных систем с различным давлением в разных зонах замещения. Это дает принципиальную возможность различать продукты природного инфильтрационного метасоматоза от диффузионного. Было бы очень интересно исследовать эти соотношения экспериментально на солевых системах.

Институт геологических наук
Академии наук СССР

Поступило
21 VI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Д. С. Коржинский, ДАН, 77, № 2 (1951). ² Д. С. Коржинский, ДАН, 78, № 1 (1951). ³ Д. С. Коржинский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 6 (1951).