

Член-корреспондент АН СССР Д. С. КОРЖИНСКИЙ

## ОБЩИЕ СВОЙСТВА ИНФИЛЬТРАЦИОННОЙ МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

При просачивании раствора через поры горной породы в направлении течения раствора возникает разрастающаяся колонка инфильтрационно-метасоматических зон. Если процесс протекает без изменения объема замещаемой породы, что представляет нормальный случай метасоматоза, то изменение породы и порового раствора в пределе должно подчиняться, как показано ранее (1), следующей системе уравнений:

$$\frac{x}{v} = \frac{dx}{dv} = \varphi_a \frac{\partial C_a / \partial x}{\partial a / \partial x} = \varphi_b \frac{\partial C_b / \partial x}{\partial b / \partial x} = \dots = \varphi_k \frac{\partial C_k / \partial x}{\partial k / \partial x}, \quad (1)$$

где  $x$  — расстояние вдоль колонки от места вступления раствора в толщу однородной исходной породы;  $v$  — объем раствора, просочившегося через единицу площади любого сечения колонки;  $a, b, \dots, k$  — содержания компонентов породы в единице ее объема;  $C_a, C_b, \dots, C_k$  — концентрации этих компонентов в поровом растворе данного сечения (вода в число этих компонентов не входит);  $\varphi_a, \varphi_b, \dots, \varphi_k$  — коэффициенты фильтрационного эффекта (2) для данных компонентов в данных условиях. В силу наличия в каждом элементарном участке химического равновесия между породой и ее поровым раствором, при постоянных температуре и давлении раствора из  $2k$  параметров  $a, b, \dots, k, C_a, C_b, \dots, C_k$  только  $k$  могут иметь независимую величину, что может быть представлено существованием  $k$  уравнений вида:

$$C_a = f_a(a, b, \dots, k); \quad C_b = f_b(a, b, \dots, k); \quad \dots; \quad C_k = f_k(a, b, \dots, k). \quad (2)$$

Исследуем при помощи уравнений (1) строение колонки, образовавшейся в результате просачивания определенного объема  $v = v_1$  раствора. Тогда единственным переменным будет  $x$  и (1) примет вид

$$\frac{x}{v_1} = \varphi_a \frac{dC_a}{da} = \varphi_b \frac{dC_b}{db} = \dots = \varphi_k \frac{dC_k}{dk}. \quad (3)$$

Дальше всего распространится изменение концентрации в растворе тех компонентов, которые не входят или почти не входят в состав минералов породы, так как для них  $x/v_1 = \varphi_i dC_i/di$  близко к бесконечности (если  $\varphi_i$  не очень мало). Такое изменение концентрации будет, очевидно, распространяться со скоростью течения самого растворителя (для упрощения мы приняли объем пор породы беспрельдно малым, а потому скорость течения раствора получается бесконечно большой; на самом деле объем пор мал, но не равен нулю, а скорость течения раствора ограничена). С предельной скоростью будет распространяться также выравнивание давления в пределах зон одного минералогического состава, так как, в силу малой сжимаемости минералов, для резкого изменения давления и зависимых от него концентраций компонентов в растворе достаточно чрезвы-

чайно малых изменений содержаний компонентов в породе. С большой скоростью будет происходить выравнивание состава минералов, близких к «минералам постоянного состава», для которых частные производные  $\partial C_i / \partial i$  очень велики, т. е. незначительные изменения состава вызывают очень большие изменения концентрации в растворе. Поэтому в пределах метасоматической зоны, сложенной одними и теми же минералами постоянного состава, градиент давления в породе и градиенты концентраций компонентов в поровом растворе должны быть близки к нулю. Отсюда видно, что метасоматоз не может проявляться в изменении количественных соотношений минералов постоянного состава, поскольку на контакте двух зон, отличающихся только количественным соотношением минералов постоянного состава, градиенты концентраций компонентов в растворе равны нулю, а потому равна нулю и скорость продвижения такого контакта, согласно уравнениям (1). Вообще метасоматоз проявляется в образовании колонки резко разграниченных метасоматических зон качественно различного минералогического состава, с постепенным продвижением границ зон в сторону просачивания раствора. В пределах каждой зоны, если в ней отсутствуют минералы переменного состава, никаких замещений не происходит и содержание компонентов в породе и их концентрации в растворе остаются постоянными.

Образование более или менее резких фронтов замещения, т. е. отсутствие постепенных переходов между метасоматическими зонами, действительно, очень характерно для проявлений природного метасоматоза как инфильтрационного, так и диффузионного. Однако в природных явлениях фронт замещения нередко имеет сложную извилистую форму, связанную с неравномерной пористостью и трещиноватостью пород, с реликтовыми участками и реликтовыми минералами менее замещенной породы среди зон более интенсивного замещения.

При постоянных температуре и давлении раствора состояние каждой зоны зависит от  $k$  независимых параметров («факторов равновесия»), если  $k$  — число химических компонентов породы (не считая воды). В самой передней зоне, где порода метаморфизована под влиянием воды просочившегося раствора, но еще не успела изменить свой состав в отношении других компонентов, факторами равновесия являются содержания компонентов в исходной породе, т. е. все компоненты ведут себя здесь инертно. Наоборот, в самой задней зоне, где порода изменена полностью и состав ее полностью зависит от состава раствора, факторами равновесия являются концентрации всех компонентов раствора, т. е. все компоненты ведут себя здесь вполне подвижно. В промежуточных зонах часть компонентов ведет себя инертно, а часть вполне подвижно.

Рассмотрим какие-либо две соседние зоны. В каждой имеется  $k$  независимых параметров, т. е. вместе в двух зонах  $2k$  независимых параметра. Но эти параметры связаны системой  $(k-1)$  уравнений вида:

$$\varphi_a \frac{C_a^I - C_a^{II}}{a^I - a^{II}} = \varphi_b \frac{C_b^I - C_b^{II}}{b^I - b^{II}} = \dots = \varphi_k \frac{C_k^I - C_k^{II}}{k^I - k^{II}}, \quad (4)$$

которые получаются из (3) для контактов зон качественно различного состава. Поэтому состояние двух соседних зон зависит всего от  $2k - (k-1) = k+1$  параметра. Если понимать под I самую переднюю зону, то в ней независимыми являются содержания  $k$  компонентов, а потому в зоне II только один параметр может иметь величину, независимую от исходного состава породы, а зависящую от состава воздействующего раствора. Таким образом, переход от зоны I к зоне II сопровождается переходом в вполне подвижное состояние

только одного компонента. В каждом последующем контакте аналогично переходит в вполне подвижное состояние не более, чем по одному компоненту. Так как на протяжении колонки все компоненты переходят в вполне подвижное состояние, то наименьшее число зон качественно различного минералогического состава в полной метасоматической колонке равно  $k + 1$ . Но если изменение концентрации какого-либо вполне подвижного компонента вызывает более чем одну реакцию раствора с породой, то возникнут еще дополнительные зоны, с одинаковым числом вполне подвижных компонентов, но с различной их концентрацией. Возможны и другие специальные обстоятельства, изменяющие нормальное число зон.

Наименьшее число зон в колонке можно установить и следующим наглядным образом. Рассмотрим замещение породы, сложенной  $k$  компонентами, под воздействием раствора с теми же компонентами. Состояние каждой зоны зависит от  $k$  факторов равновесия, и при образовании колонки из  $z$  зон общее число факторов равновесия будет  $kz$  (мы предполагаем, что минералы переменного состава отсутствуют). Но эти факторы в каждом контакте связаны  $k - 1$  уравнением (4), а всего таких уравнений связи в колонке из  $z$  зон будет  $(k - 1)(z - 1)$ . Число независимых факторов равновесия во всей метасоматической колонке равно, таким образом,  $n = kz - (k - 1)(z - 1) = z + k - 1$ . Если состояние колонки зависит только от состава исходной породы и состава вступающего в нее раствора, т. е. от  $2k$  факторов, то  $n = z + k - 1 = 2k$ , откуда  $z = k + 1$ . В этом случае составами исходных пород и раствора полностью определяется не только состав всех зон, но из уравнений (3) и величина  $x/v$  для каждого контакта, т. е. и относительная ширина каждой зоны.

Если в состав колонки входят только одни минералы постоянного состава, то число минералов в метасоматической зоне, образовавшейся с сохранением объема, на единицу превосходит число инертных компонентов в ней (3). Поэтому в колонке с минимальным числом зон в каждой последующей зоне число минералов на единицу сокращается, вплоть до последней мономинеральной зоны, в которой все компоненты находятся в вполне подвижном состоянии. Действительно, для природных метасоматических образований очень характерны фронты замещения, у которых число минералов в замещающей породе на единицу меньше, чем в замещаемой. В других случаях некоторые зоны оказываются весьма узкими, так что они могут быть плохо заметны, и тогда имеет место расплывчатый фронт замещения с сокращением числа минералов более чем на единицу.

Инфильтрационная метасоматическая зольность дает один из примеров осуществления в природе «систем с вполне подвижными компонентами» (4), так как здесь в каждой из перемещающихся зон одни компоненты находятся в инертном, а другие в вполне подвижном состоянии. Последовательность, в которой в инфильтрационной колонке происходит переход компонентов в вполне подвижное состояние, дает нам основание говорить об относительной подвижности компонентов при данном процессе. Посмотрим, от каких факторов зависит относительная подвижность. Для наглядности ограничимся простейшим случаем метасоматической колонки, когда в исходной породе каждый из минералов сложен только одним компонентом, а раствор недосыщен всеми компонентами породы, т. е. конечным результатом воздействия раствора будет полное растворение породы. На фронте растворения какого-либо минерала  $I$  концентрация соответствующего компонента понижается от концентрации  $C_i^1$ , которую он имеет в поровом растворе исходной породы, до концентрации  $C_i^0$  воздействующего раствора, а содержание в единице объе-

ма породы спускается от  $i^1$  исходной породы до нуля. Отсюда скорость продвижения фронта растворения какого-либо минерала I выразится, согласно (4), через  $\frac{x}{v} = \varphi_i \frac{C_i^1 - C_i^0}{i^1}$ . Эта скорость для различных минералов будет различна, вследствие чего образуется колонка из  $k + 1$  зон с уменьшением числа минералов на единицу в каждой последующей зоне. Наиболее подвижным при данном процессе будет компонент, для которого величина  $\frac{x}{v} = \varphi_i \frac{C_i^1 - C_i^0}{i^1}$  окажется наибольшей, т. е. для которого изменение концентрации до  $C_i^0$  произойдет прежде всего, уже в самой передней зоне метасоматоза. Порядок подвижности компонентов здесь, очевидно, соответствует порядку растворения соответствующих минералов, т. е. порядку величин  $\varphi_i \Delta C_i / \Delta i$  для разных компонентов.

В рассмотренном примере растворение одного минерала влечет за собою изменение концентраций и содержаний только одного компонента. Но при многокомпонентном составе минералов изменение концентрации компонента, переходящего в вполне подвижное состояние, влечет за собою, согласно закону действия масс, изменение концентраций, а следовательно, согласно (4), и содержаний других, в частности, и сохраняющих инертность компонентов. Таким образом, инертность в геохимии, как и в механике, не исключает возможности перемещения. Но перемещения инертных компонентов при метасоматической реакции обычно незначительны и, главное, всегда недостаточны для качественного изменения минералогического состава породы. Во всех случаях более подвижным оказывается компонент, для которого возможна реакция с более высокой величиной отношения  $\varphi_i \Delta C_i / \Delta i$ , т. е. с большей скоростью продвижения.

В качестве примера инфильтрационного метасоматоза можно привести зоны окварцевания покровных пород, например кварцевых порфиров, в контактах с кислыми субвулканическими интрузиями. Метасоматоз здесь вызывался просачиванием восходящих постмагматических растворов, выделявшихся этими интрузиями. Конечным продуктом замещения является приконтактная зона мономинеральных кварцитов. Это зона подвижности всех компонентов. Выше обычно следует зона двуминеральных серицит-кварцевых пород, в которой содержание глинозема, являвшегося здесь инертным, примерно соответствует первичному содержанию в кварцевом порфире. Выше залегает серицитовый кварцит с вкрапленностью пирита, обусловленной инертностью в этой зоне железа. Далее серицит сменяется ортоклазом и альбитом, затем появляются псевдоморфозы хлорита по биотиту, пирит сменяется магнетитом и пр., т. е. через ряд промежуточных зон мы переходим к многоминеральному разложенному кварцевому порфиру.

Уменьшение числа минералов с возрастанием интенсивности метасоматоза проявляется в природе очень резко и может считаться основным отличительным признаком метасоматических образований от магматических и метаморфических.

Институт геологических наук  
Академии наук СССР

Поступило  
28 II 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Д. С. Коржинский, ДАН, 77, № 2 (1951). <sup>2</sup> Д. С. Коржинский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1947). <sup>3</sup> Д. С. Коржинский, там же, № 3, 47 (1950). <sup>4</sup> Д. С. Коржинский, там же, № 2 (1949).