

А.И.Грабежев

МИГРАЦИЯ Si, Al и Ti ПРИ КИСЛОТНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Слюдисто-кварцевые метасоматиты являются характерными околорудными породами многих типов гидротермальных месторождений. Несмотря на то, что они состоят всего двумя минералами - кварцем и белой слюдой (с небольшой примесью пирита, карбоната, флюорита и т.д.), их состав и характер миграции вещества при формировании отражают специфику условий минералообразования.

Из всего обилия слюдисто-кварцевых метасоматитов нами выбраны только те их фации (обычно с негидратированной слюдой), которые наблюдаются в медно-порфировых (серицит-кварцевая формация), колчеданных (хлорит-серицит-кварцевая формация), гиабиссальных редкометальных (грейзеновая формация в связи с лейкогранитами нормальной щелочности) и мезо-гиабиссальных золотожильно-кварцевых (березит-лиственитовая формация) месторождениях. Несмотря на обилие работ по петрохимическому изучению метасоматитов, их межформационное сравнение не проводилось. Кроме того, в абсолютном большинстве исследований не учитывается влияние (вклад) различного рода ошибок при оценке степени привноса-выноса вещества. Поэтому выявление тенденций миграции компонентов для отдельных фаций может дать наиболее объективную картину процесса.

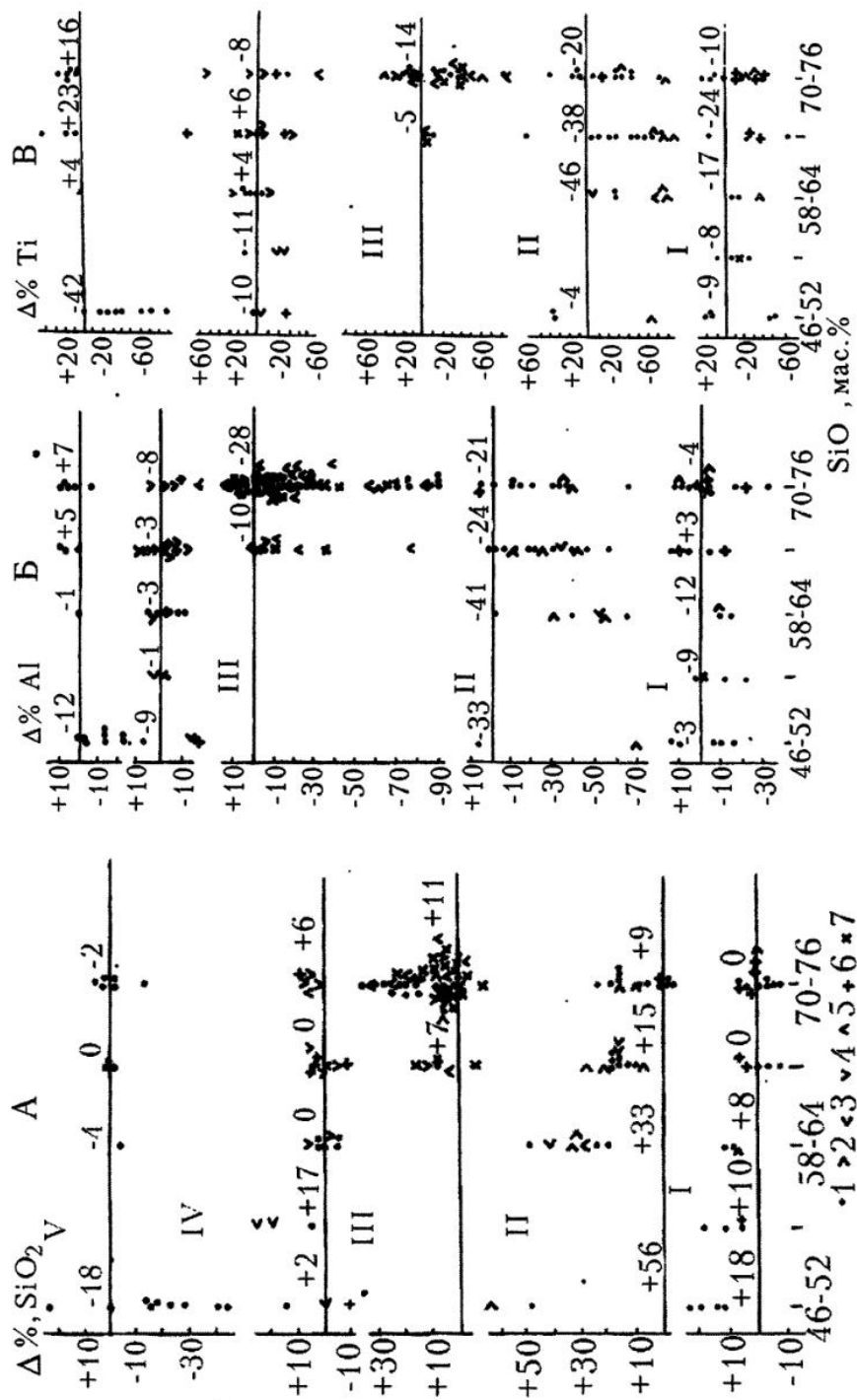
Обработана с помощью программ Foxpro и Statgraf большая часть имеющегося аналитического материала по указанным типам месторождений Урала, Сибири, Казахстана и Америки, а также ряда других регионов. Ввиду многочисленности месторождений и литературных источников, ссылки на них в настоящей работе не приведены. Отбракованы безусловно ошибочные анализы и те из них, в которых фиксируется присутствие прожилок кварца, карбоната и других избыточных минералов. Последнее осуществлено на основе разработанной компьютерной диаграммы $A = (C_{Al}/C_{Ti})^3 / (C_{Al}/C_{Ti})^m - 100(C_{M-Al} - C_{Al}^3) / C_{Al}^3$, где m - мета-

соматит; э - адукт. С помощью этой диаграммы можно выявить случаи, когда алюминий и титан ведут себя немобильно, и оценить величину вероятного уменьшения геометрического объема, когда оно имеет место. Рассмотрение баз данных по вышеупомянутым группам месторождений показало, что такое уменьшение

для нормально- и низкоглиноземистых метасоматитов наблюдается крайне редко. Высокоглиноземистые метасоматиты нами не рассматриваются. Полученные данные позволяют считать, что различия содержаний Si, Al и Ti метасоматита и эдукта, находящиеся в пределах интервала ошибок химического анализа и неоднородности пород, не противоречит представлению о немобильном поведении этих компонентов в условиях постоянного геометрического объема. Указанный интервал ошибок рассчитан исходя из данных по воспроизводимости определений Si, Al и Ti (разработки методической лаборатории ВИМСа), условно увеличенной в 2-3 раза, поскольку анализы обычно выполнены в рядовых лабораториях, а неоднородность состава эдукта может в той или иной степени варьировать. Для пород гранитного состава интервал возможных ошибок составляет ± 5 отн.% для Si, ± 10 отн.% для Al и ± 20 отн.% для Ti. Указанные интервалы ошибок едва ли можно считать завышенными. Так, вариации относительного различия содержаний глинозема в лейкогранитах и образовавшихся по ним мусковит-кварцевых грейзенов хорошо изученного месторождения Акчатау, судя по интерпретации В.Г.Боголепова (1967г.) многочисленных аналитических материалов Я.Д.Готмана и др. (1965г.), равномерно укладываются в предлагаемый интервал ± 10 отн.%. Это весьма вероятно указывает на то, что такие вариации связаны не с привносом или выносом, а с ошибками анализов и неоднородностью исходных пород. В то же время концентрация анализов преимущественно в плюсовой или минусовой области интервала ошибок может свидетельствовать о наличии тенденции миграции вещества.

Диаграммы относительной миграции вещества построены на основе анализов, сопровождающихся объемными весами, и дополнены анализами, для которых определения объемного веса не приведены. Сопоставление диаграмм относительной миграции, построенных для проб с объемным весом и без него для одних и тех же выборок, показывают, что они принципиально не отличаются.

Установлено (см. рисунок), что для эдукта гранитного состава величина $\Delta\%C_{Al}$ значительной части слюдисто-кварцевых метасоматитов колчеданных (23% от числа анализов) и грейзеновых (46% от числа анализов мусковит-кварцевых грейзенов) месторождений попадает в интервал возможных ошибок (при субравномерном распределении плюсовых и минусовых значений $\Delta\%C_{Al}$ для мусковит-кварцевых грейзенов). Это, скорее всего, свидетельствует о том, что мусковит-кварцевые грейзены многих месторождений формируются при немобильном поведении алюминия в условиях постоянного геометрического объема, так как параметр A анализов обычно укладывается в интервал $1,007 \pm (0,10-0,15)$. В частности, немобильность алюминия очень характерна для мусковит-кварцевых грейзенов Центрального Казахстана и Средней Азии, особенно для наиболее изученного месторождения Акчатау. На среднем горизонте последнего значение $\Delta\%C_{Al}$ мусковит-кварцевых грейзенов не превышает ошибок химического анализа, что следует из материалов Я.Д.Готмана (1965г.), В.Г.Боголепова (1967г.), Г.П.Зарайского и др. (1994г.). Из грейзенов (особенно "пористых") нижнего горизонта алюминий отчетливо выносится. Вынос алюминия при формировании мусковит-кварцевых грейзенов наблюдается на многих грейзеновых месторождениях Забайкалья, Приморья, Дальнего Востока, Монголии, Рудных гор и ряда других регионов. Что касается кварцевых грейзенов, то на диаграммах они четко обособляются от мусковит-кварцевых. В то же время на колчеданных месторождениях существенно кварцевые метасоматиты ($Al_2O_3 < 4-5$ мас.%) наблюдаются довольно редко (вопреки установившемуся мнению о широком распространении в них "вторичных кварцитов"). В целом степень выноса Al при образовании слюдисто-кварцевых метасоматитов на колчеданных месторождениях выше, чем на грейзеновых. Зато на последних обычно фиксируется почти полный вынос алюминия из внутренней части ореолов (зоны кварцевых грейзенов). Гораздо меньший вынос алюминия, а вернее, его отсутствие (мало анали-



Относительный привнос-вынос кремния (А), алюминия (Б) и титана (В) при кислотном выщелачивании в зависимости от содержания кремнезема в исходных породах.

I, II - соответственно хлорит-сланцево-кварцевые и слюдиисто-кварцевые метасоматиты колчеданных месторождений, III - мусковит-кварцевые (до кварцевых) грейзены редкометалльных месторождений, IV - слюдиисто-кварцевые метасоматиты медно-порфировых месторождений; V - березиты и листвениты золото-жильно-кварцевых месторождений Урала. 1 - Урал (для редкометалльных месторождений - Казахстан); 2 - Алтай; 3 - Кавказ; 4 - Казахстан и Средняя Азия (для всех месторождений, кроме редкометалльных); 5 - Сибирь (преимущественно Забайкалье, Прибайкалье и Приморье); 6 - Америка; 7 - другие регионы (Монголия, Рудные горы, Корнуэлл и др.). Исходные породы относятся, за редким исключением, к магматическому типу. Штриховой линией показан интервал возможных ошибок привноса-выноса за счет аналитической неточности и неоднородности субстрата сопоставляемых пород. Цифры -среднеарифметические значения относительного привноса (+) или выноса (-) для данной группы метасоматитов

зов), наблюдается на медно-порфировых месторождениях. Для березитов золоторудных месторождений Урала возможен небольшой привнос алюминия.

По мере уменьшения кремнекислотности эдукта наблюдается четкое увеличение выноса алюминия при образовании слюдисто-кварцевых метасоматитов колчеданных месторождений и лиственитов золотожильно-кварцевых. В медно-порфировых месторождениях, скорее всего, сохраняется немобильное поведение алюминия. В других случаях картина не совсем ясна из-за малочисленности анализов. В зональных ореолах колчеданных месторождений достаточно четко проявлено уменьшение выноса алюминия вплоть до его немобильности от центральной слюдисто-кварцевой зоны до периферической хлорит-слюдисто-кварцевой.

Поведение кремнезема несколько отличается от алюминия, хотя между ними наблюдается неплохая отрицательная корреляция. Образование слюдисто-кварцевых метасоматитов по эдукту гранитного состава происходит исключительно при привносе кремния. Об этом можно судить по положительной асимметрии распределения значений $\Delta \%C_{Si}$ анализов в интервале ошибок. Уровень относительного привноса кремния для слюдисто-кварцевых метасоматитов колчеданных и грейзеновых месторождений примерно одинаков и не превышает +20 отн.%, резко понижаясь для метасоматитов медно-порфировых и золоторудных месторождений. В зональных ореолах колчеданных месторождений переход от слюдисто-кварцевых метасоматитов к хлорит-слюдисто-кварцевым сопровождается сменой привноса кремния на его преимущественно немобильное поведение.

Степень привноса кремния увеличивается с понижением кремнекислотности замещаемых пород на колчеданных и, возможно, грейзеновых месторождениях. Для медно-порфировых и золоторудных месторождений картина не совсем ясна из-за малочисленности анализов. Исключение представляют апогаббровые листвениты золоторудных месторождений Урала, формирующиеся при резко выраженном выносе кремния.

Поведение титана в значительной мере совпадает с поведением алюминия. Для большей части месторождений всех типов, кроме золоторудных, значительная часть значений $\Delta \%C_{Ti}$ попадает в область ошибок (± 20 отн. %), что, скорее всего, свидетельствует о немобильности титана (особенно для медно-порфировых месторождений). Вместе с тем остальная часть анализов указывает на вынос титана, что особенно выражено для слюдисто-кварцевых метасоматитов колчеданных, грейзеновых месторождений и апогаббровых лиственитов золоторудных месторождений. Тенденция выноса титана с увеличением основности замещаемых пород четко выражена для колчеданных месторождений.