

Часть 6. АКТУАЛЬНЫЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В. А. Попов

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
popov@mineralogy.ru*

Моделирование метасоматоза в геологии

*«Подлинно минералогическим знанием является
только то, что обнаружено среди природы в ка-
менном виде»*

Д. П. Григорьев, 1995

Моделирование процессов минералообразования развито практически во всех направлениях геолого-минералогических наук. Особое место в нем занимает моделирование явления метасоматоза как одного из ведущих по объемам химического преобразования минеральных тел земной коры. Теория метасоматоза создавалась и развивалась преимущественно в XX веке [Метасоматизм..., 1998]. В результате сформировалось представление, что основы теории созданы и осталась работа над мелкими штрихами в частных случаях.

Однако наступил XXI век, а практического применения разработанной теории не видно. В чем причина? В том ли, что теория принципиально игнорирует пространство и время минеральных (геологических) тел, их онтогенез? Принцип («закон») дифференциальной подвижности компонентов, введенный в рамках теории метасоматоза, позволяет рассматривать зоны метасоматических тел как одновременные образования. Закон дифференциальной подвижности компонентов с легкостью подхвачен геохимией: «...при любом геохимическом процессе компоненты, в нем участвующие, ведут себя качественно различным образом: для одних устанавливается *инертное поведение*, и независимыми для них являются *экстенсивные* параметры (массы компонентов, содержание или количество их в системе); для других компонентов устанавливается *подвижное поведение*, и независимыми для них являются *интенсивные* параметры (химические потенциалы компонентов, их активности, концентрации или другие)» [Метасоматизм..., 1998, с. 29].

По этим представлениям, компоненты имеют свойство «инертности–подвижности». Отсюда следует их «поведение». Разработаны ряды большей или меньшей подвижности компонентов. При этом не обращается внимания, что компоненты виртуальны (модели в виде атомов, оксидов, мишалов) и не имеют свойства растворимости. Когда в работе разработчики теории применяют сравнительную степень «этот компонент инертнее другого компонента», то, по определению (см. выше), можно было бы говорить «этот компонент экстенсивнее другого», что является абсурдом.

Переходя к образности, представим себе, как «устанавливается инертное поведение» компонента. Поскольку в жидкостях и газах компоненты не видны (а там они все подвижны, судя по броуновскому движению более крупных частиц), то инерт-

ность компонента можно заметить (установить) только через кристаллизацию минералов. Как выше было сказано, *компоненты не могут иметь свойства растворимости*, им обладают газы, жидкости и минералы. Итак, благодаря пересыщению, из раствора высадился какой-либо минерал – однокомпонентный или многокомпонентный. У нас появилась возможность «установить инертность» компонентов этого минерала? Вряд ли. В минерал ушла только меньшая пересыщенная часть растворенного вещества, остальная большая часть осталась в растворе. Следовательно, одни и те же компоненты находятся в одной системе и в кристаллах, и в растворе – т.е. и инертны, и подвижны. Если же наглядного пособия (кристаллов) по инертности и подвижности компонентов нет, то понять суть закона дифференциальной подвижности виртуальных компонентов совсем непросто. Однако вспомним, что специалисты наблюдают *минеральные зоны в метасоматитах*, и по ним ведут рассуждения об инертных и подвижных компонентах. Значит, по этой логике, инертным компонент *становится* (?) при переходе из среды в кристалл: *подмена* (!) явления кристаллизации «явлением» перехода компонента в инертное состояние. Не компонент стал инертным, а пересыщение относительно кристаллизующегося минерала «заставило» часть его осадиться в кристалле (не забудем, что это только пересыщенная доля растворенного вещества). Здесь надо помнить, что во всех минералах существует широкий изоморфизм, и приходится говорить о «главных» компонентах, которые выделяются исследователем вследствие некоторых интуитивных или логических соображений. В процессе кристаллизации большинства минералов одновременно высаждаются из среды «инертные» и «подвижные» компоненты (например, в слюде – калий, натрий, алюминий, кремний, титан).

Из вышеприведенных соображений вытекает, что *принцип дифференциальной подвижности компонентов введен в научный обиход неудачно*: нет однозначных логических процедур и экспериментальных действий для проверки истинности дифференциальной подвижности компонентов, тем более что и сами компоненты физически неоднозначны (виртуальны). Вообще принцип разрабатывался так, как будто в твердой земной коре существуют одни химические (жидкие и газовые) системы, в которых все взаимодействие и распределение определяются поведением компонентов, а минералы не участвуют в движении вещества своим свойством растворимости. Это видно из того, как записываются химические уравнения, из которых ведутся все расчеты. Но минеральный уровень организации вещества не является химическим уровнем, здесь свои системы и системные свойства. Пожалуй, трудно согласиться с высказыванием «минералогия есть химия земной коры». Минерал обладает не только химическим составом, но и своими физическими свойствами, структурой и формой кристаллов, а также анатомией. Искусственные кристаллизационные системы создать можно, но кристаллы минералов растит («собирает») природа, а не человек. Следовательно, *искусственных минералов не бывает*. Можно лишь говорить, что минерал вырос в искусственно созданной (подобранной) системе.

Предметом нашего рассмотрения являются минеральные тела. Все минеральные тела – малые и большие, простые и сложные – имеют свой онтогенез (историю «жизни»). Минералы зарождаются, изменяются и исчезают. Установлена кристаллизация минералов в газовой, жидкой и твердой среде. Если в газовой и жидкой среде кристаллу при росте ничто не мешает «захватывать» пространство, то в твердой среде возникает необходимость освобождать пространство от твердых тел (минералов) для роста новых минералов. Освобождение пространства (растворение протоминералов) по относительно времени может происходить различно: 1) до роста новых ми-

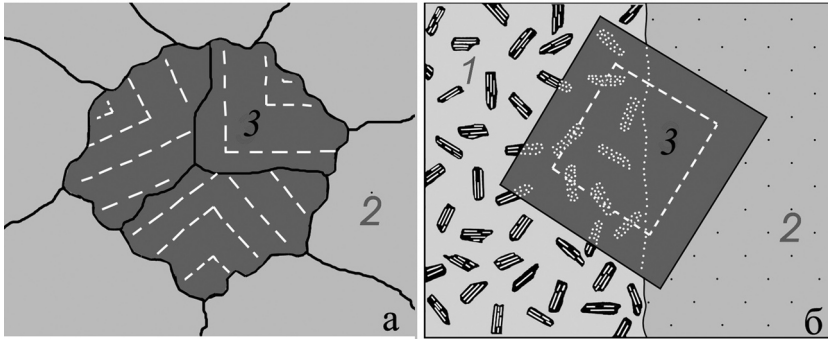


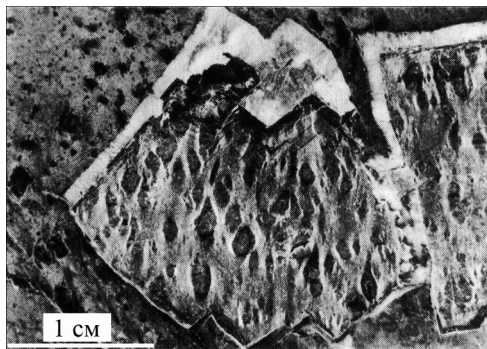
Рис. 1. Схематическое отображение кристаллизации пирита в полости (а) и в виде метакристалла (б).

1 – березит, 2 – жильный кварц, 3 – пирит. В метакристалле пирита видна «тень» предшествовавшего твердого тела (сложного минерального агрегата).

нералов и 2) одновременно с их кристаллизацией. В первом случае новые минералы заполняют пространство той формы, которая получилась вследствие растворения, поверхность индивида или агрегата является ксеноморфной (рис. 1а). Во втором случае форму новообразований определяют растущие в твердой среде индивиды, они идиоморфны, и их называют метакристаллами (рис. 1б). Если метакристаллы развиваются избирательно по части минералов агрегата, то возникают псевдоморфозы. Явление образования минеральных псевдоморфоз в середине XIX в. было названо К. Ф. Науманном метасоматозом (*мета* – после, *сома* – тело). Псевдоморфозы могут возникать не только по минеральным индивидам, но и по сложным минеральным телам.

Теорию метасоматоза разрабатывали многие исследователи [Коржинский, 1955; 1969; Поспелов, 1973; Гликин, 2004 и др.], развивавшие разные концепции на различных исходных постулатах. Концепция Д. С. Коржинского построена на «химическом и термодинамическом восприятии» мира минералов, и получила наиболее широкое распространение среди специалистов в России. Критическое рассмотрение этой концепции изложено ранее [Попов, 2011]. Г. Л. Поспеловым метасоматоз как явление понимался очень широко, в том числе и кристаллизация в порах горных пород, когда собственно метасомы (после тела) нет. В последние два десятилетия А. Э. Гликиным [2004] создана концепция полиминерально-метасоматического кристаллогенеза. Здесь частично используются представления Г. Л. Поспелова о парадоксальности едва ли не всех сторон явления метасоматоза. Вероятно, парадоксальность заложена в самих концепциях явления метасоматоза, т.е. парадоксально не явление, а наше мышление. А. Э. Гликин [2004, с. 12] привел важное для его концепции определение: «Под метасоматическим замещением понимается процесс, состоящий из *взаимосвязанных и сопряженных* во времени и пространстве стадий растворения протокристалла и осаждения новообразования другого состава». В этой взаимосвязи, однако, есть следствие, которое можно вывести только из морфологических признаков, имеющих на телах (кристаллах), и невозможно – из рассмотрения компонентов. В монографии А. Э. Гликина [2004] есть глава, посвященная кристалломорфологии, но фактически форма кристаллов не задействована для определения последовательности событий при метасоматозе. Более того, все эксперименты по «мета-

Рис. 2. Тень текстуры сланца в метакристалле пирита. Месторождение Кулар (Якутия). Полированный метакристалл протравлен кислотой. Фото А. Ф. Бушмакина.



соматозу» велись в открытых кристаллизаторах со свободным доступом эдуктов (протоминералов) и продуктов (новообразованных минералов) к открытому пространству с раствором. В экспериментах растворение протокристаллов

идет впереди отложения новых кристаллов, а это уже относится к росту в свободном от твердых тел пространстве! Это критическое замечание относится и к экспериментам по «метасоматозу» при высоких значениях температуры и давления в автоклавах [Метасоматизм..., 1998]. Принципиальная разница между свободно выросшими кристаллами и метакристаллами (выросшими в твердой среде) – различие анатомической картины кристаллов и агрегатов [Попов, 2011; 7-й закон анатомии]. По наблюдениям, *метакристаллы всегда идиоморфны по отношению к замещаемому минералу* (см. рис. 1б), а в их анатомической картине всегда есть какая-либо «тень» предшествующего твердого тела как элемент анатомии нового тела (рис. 2).

Зададимся вопросом: почему протокристалл растворяется только вокруг метакристалла, а не в любом другом месте около трещины с функционирующим раствором? Возможный ответ: чтобы протокристалл растворялся, необходимо недосыщение относительно него в пленочном растворе. При насыщенном состоянии пленочного раствора в трещине можно создать местное недосыщение с помощью утонения пленки за счет прирастания метакристалла. Утонение пленки ведет к увеличению «расклинивающего» давления раствора в месте прирастания метакристалла и к увеличению растворимости протокристалла, т.е. к состоянию недосыщения относительно него. Таким образом, для растворения протокристалла в такой системе необходимо прирастание метакристалла.

Второй вопрос: почему метакристаллы всегда идиоморфны по отношению к замещаемому минералу? Возможный ответ: кристаллы всегда растут собственной (идиоморфной) поверхностью. Поскольку рост метакристалла вынуждает растворяться протокристалл, то метакристалл имеет свою ростовую поверхность. Если протокристалл не растворяется (для него не достигнуто состояние недосыщения), то новый минерал из пересыщенного для него раствора может расти только в пределах открытых трещин и пор, образуя ксеноморфные выделения (см. рис. 1а).

Собственно метасоматоз (замещение) происходит в тончайшей пленке, химический состав и форма облекания которой формируются в соответствии с составом, трещиноватостью (спайностью, отдельностью), включениями, пористостью исходного твердого тела. Это все отражается в анатомии метакристалла. Если растворение твердого тела предшествует росту нового кристалла, то все детали его анатомии в участке растворения исчезают, ни о каком наследовании анатомических признаков предшественника речи не идет. При метасоматозе часть информации о предшествующих телах сохраняется в виде «тени» (см. рис. 2).

Природные минеральные тела в общем случае имеют сложный онтогенез, в процессе которого могут чередоваться явления роста и растворения минералов

вследствие трещинообразования при тектонических движениях. Сложный онтогенез ведет к сложноустроенным минеральным телам, в анатомии которых записана история их «жизни». Однако сложное тело можно представить в виде последовательных простых тел, среди которых могут оказаться тела, позволяющие рассматривать их как элементы системы с какими-либо эмерджентными свойствами (например, соответствие состава, формы).

Минеральные индивиды и сложные минеральные тела образуются путем кристаллизации и перекристаллизации. В процессе кристаллизации индивиды *всегда* растут собственной (идиоморфной) поверхностью, в них закладывается ростовая анатомическая картина, позволяющая говорить о разделении атомов элементов и их изотопов растущими кристаллами из ростовой среды. Кристаллизация – процесс вынужденный (обусловлен пересыщением в среде) и неравновесный. Перекристаллизация – процесс самопроизвольный, происходит в пределах мономинерального пространства за счет внутрискристаллической и поверхностной энергии индивидов. Для перекристаллизации не требуется растворитель, не задействован механизм «растворение–рост» [Попов, 2011]: движение границ зерен происходит путем перераспределения строительных частиц (атомов, молекул, комплексов) в зоне контакта энергетически различных индивидов (с разной плотностью дислокаций, дефектов, вакансий, напряжений).

Термин «метаморфизм» в геологии объединяет три явления – деформация твердых минеральных тел, перекристаллизация (рекристаллизация) минералов и метасоматоз. Образование новых минералов при метаморфизме твердых минеральных тел идет только метасоматически за исключением полиморфных превращений. *Все метаморфические породы с новообразованными минералами по механизму являются метасоматическими за исключением кристаллизации минералов в порых и трещинах.* Так, если на месте глинистого сланца возник роговик, то это означает, что на месте индивидов глинистых минералов (твердых тел) выросли индивиды слюды, граната, кордиерита, полевого шпата и других. Ни один из новообразованных минералов по составу не равен глинистому минералу, занимающему конкретное пространство. Следовательно, в этом пространстве должен произойти привнос–вынос вещества: на месте одного твердого тела образовалось другое твердое тело (метасома!), что по определению относится к метасоматозу. Онтогенетический анализ метаморфических пород показывает, что в земной коре практически не встречаются случаи образования в них минералов при изохимическом метаморфизме. Это согласуется и с общетеоретическими представлениями: все минералообразование в земной коре происходит в градиентных полях температуры и давления. Они порождают обязательное движение жидкостей и газов, т.е. тепломассоперенос.

Таким образом, физико-химическая теория метасоматоза, построенная на принципе (законе) дифференциальной подвижности компонентов, не соответствует природным явлениям. Сам принцип сформулирован неудачно, вследствие использования лишь части информации, заложенной в зональных минеральных телах, и разработан в рамках химических (компонентных) систем. Метаморфические породы земной коры образовались преимущественно метасоматическим путем за редкими локальными исключениями, где есть только деформация и рекристаллизация. Следовательно, для метаморфических толщ не существует изохимического преобразования, а механизмы локального и регионального метасоматоза принципиально ничем не отличаются.

Литература

- Гликин А. Э.* Полиминерально-метасоматический кристаллогенез. СПб.: Изд-во «Журнал Нева», 2004. 320 с.
- Григорьев Д. П.* Рассуждения о минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 1995. 85 с.
- Коржинский Д. С.* Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: АН СССР, 1955. С. 334–456.
- Коржинский Д. С.* Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1969. 111 с.
- Метасоматизм и метасоматические породы. М.: Научный мир, 1998. 492 с.
- Попов В. А.* Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 167 с.
- Поспелов Г. Л.* Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. Новосибирск: Наука, 1973. 355 с.