

Е.В. Рахов

**ОБРАЗОВАНИЕ МОНОМИНЕРАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
ПРИ РАННЕМ МЕТАМОРФИЗМЕ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД**

Каждой стадии постседиментационных изменений осадочных образований свойственны определенные изменения структурно-текстурного облика, минералогического состава и физико-химических свойств. Так, при диагенезе происходит уравнивание осадка с образованием диагенетических минералов, которые в дальнейшем, при катагенезе, переотлагаются, образуя линзы, конкреции и пластообразные сгущения. Метагенез характеризуется глубокими минералогическими и структурно-текстурными изменениями осадочной породы, под влия-

нием повышенных температур и давлений в присутствии минерализованных растворов, в ходе которых происходит перекристаллизация аутигенных минералов и переотложение главных породообразующих минералов. Проблема выделения стадий постседиментационных преобразований осадочных пород наиболее полно освещена в работах О.В. Япаскурта [Япаскурт, 1991; Япаскурт, 1992].

Метаморфизму свойственны химические реакции, направленные на образование устойчивых при сменившихся физико-химических

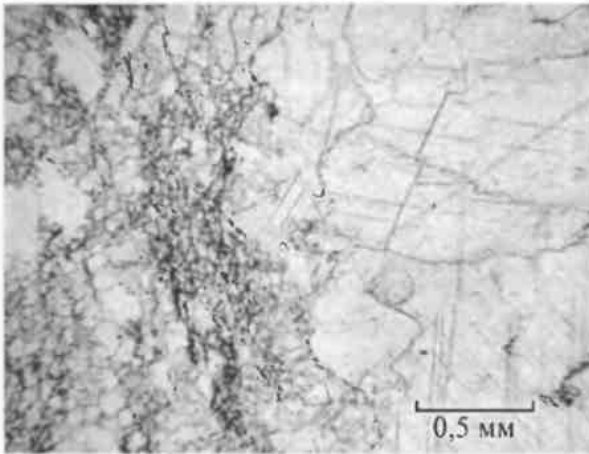


Рис. 1. Метаморфизованный известняк.

Снимок шлифа в параллельных николях. Черное – углеродистое вещество. Справа – новообразованный агрегат кальцита.

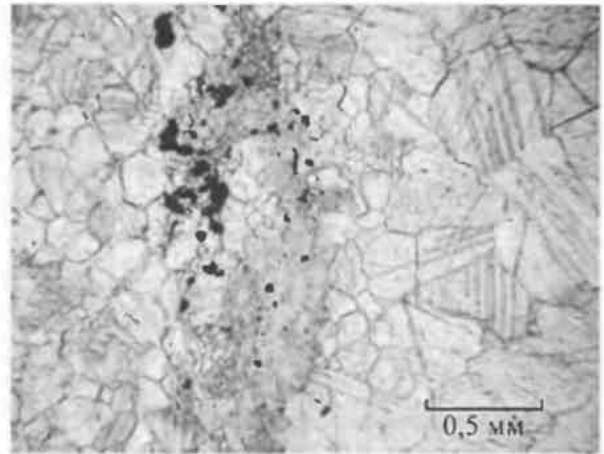


Рис. 2. Метаморфизованный известняк.

Снимок шлифа в параллельных николях. Сгущение глинистого материала и пирита (в центре) маркирует границу исходного (слева) и новообразованного (справа) агрегатов.

условиях минеральных ассоциаций, также сопровождающиеся изменением структурно-текстурных характеристик породы. Воздействие главных факторов метаморфизма приводит к тому, что горная порода выводится из состояния термодинамического равновесия предшествующих стадий преобразования и вынуждена приспосабливаться к новым условиям. Основными проявлениями такого приспособления являются изменение структуры агрегатов и смена минеральных ассоциаций. Оба они направлены на сброс избытка свободной энергии, возникающего в горной породе при повышении температуры и давления.

Особый интерес в отношении стремления к термодинамической стабильности представляют карбонатные породы, испытавшие относительно слабое метаморфическое воздействие, что связано с их специфическими свойствами – способностью к диссоциации и перекристаллизации. Способность карбонатных горных пород к изменению структуры под воздействием относительно небольших температур и давлений общеизвестна. Характерной чертой большинства карбонатных пород-продуктов раннего этапа прогрессивного метаморфизма является наличие участков, сложенных мономинеральным

кальцитовым агрегатом. Возникновение таких участков всегда сопровождается осветлением и укрупнением среднего размера зерен.

Смена структурно-текстурного облика породы может происходить как при метаморфизме, так и при литогенезе. В ходе постседиментационных (литогенных) изменений происходит раскристаллизация исходной пелитоморфной карбонатной массы, что, как и при перекристаллизации, приводит к увеличению размера зерен главных породообразующих минералов. Однако подобное разрастание зерен не вызывает значительного перемещения акцессорных примесей и сопровождается механическим захватом частиц. Таким образом, при литогенезе сингенетичные признаки породы сохраняются. При метаморфизме же они уничтожаются. Стадии постдиагенетических изменений карбонатных пород детально рассмотрены в работе Л.В. Анфимова [Анфимов, 1997].

При рассмотрении явлений пространственного перемещения акцессорных минералов мы будем обсуждать именно метаморфические процессы. Отличия метаморфической перекристаллизации от преобразования структуры агрегатов, происходящего при литогенезе, заключаются в том, что при метаморфизме кар-

бонатные агрегаты практически полностью теряют структурные признаки седиментогенных образований вследствие возникновения гранобластовых структур. Образование последних протекает с пространственным перемещением акцессориев. Основной причиной таких преобразований является воздействие повышенных давлений и температур. В то же время указанные преобразования могут протекать без участия химических реакций, свойственных метаморфизму. В настоящей работе рассматриваются процессы структурно-текстурной перестройки карбонатных пород, свойственные самым начальным этапам метаморфизма, в ходе которых имеют место существенные изменения структуры агрегатов, но метаморфических реакций еще не происходит. Иначе говоря, нас интересует ранний метаморфизм карбонатных пород, происходящий под воздействием давлений и температур, достаточных для возникновения крупнокристаллических гранобластовых структур, но недостаточных для начала собственно метаморфических реакций.

Образование мономинеральных агрегатов следует относить к существенным структурно-текстурным преобразованиям горной породы. Однако такое изменение происходит без участия реакций, направленных на смену минеральных ассоциаций. Наиболее проблематичным в объяснении генезиса мономинеральных зон является исчезновение акцессорных минералов, содержащихся в исходной неизменной породе. На наш взгляд, возникновение указанных зон, сопровождающееся очисткой от инородных частиц, связано с процессами перекристаллизации горной породы.

Явление твердофазной перекристаллизации часто упоминается в геологической литературе. Существует множество определений этого термина, но ни одно из них не охватывает всего спектра явлений, происходящих при структурно-текстурном преобразовании породы. Тем временем необходимость корректной интерпретации таких преобразований, несомненно, существует, поскольку эти процессы сопровождаются существенным изменением термодинамических свойств горных пород. Не менее важно то, что такие изменения приводят к пространственному перемещению акцессорных минералов. В случаях, когда такие перемещения происходят на значительные расстояния, следует ставить вопрос о мобилизации минерального вещества, слагающего горную поро-

ду, в том числе и рудных компонентов. В настоящей работе предпринимается попытка выяснения характера пространственных перемещений акцессорных минералов на начальном этапе метаморфизма карбонатных пород.

Существующие в современной геологической литературе термины «перекристаллизация», «рекристаллизация» и «собирательная перекристаллизация» разными авторами трактуется по-разному [Геологический..., 1973; Жабин, 1979; Григорьев, 1961; Попов, 1984]. Кроме того, имеет место существенное терминологическое несоответствие между определениями указанных процессов в геологической литературе и определениями, принятыми в физике твердого тела [Физический..., 1983]. В свете рассматриваемой проблемы перекристаллизация в настоящей работе понимается как совокупность структурно-текстурных преобразований горной породы, вызванных повышением температуры и давления и приводящих к снижению ее свободной энергии. В результате таких преобразований увеличивается средний размер зерен, слагающих породу, их форма меняется на равновесную для новых условий. При перекристаллизации возрастает термодинамическая устойчивость кристаллического агрегата за счет снижения общей площади межзерновой поверхности и устранения (частичного или полного) деформационных искажений. Конечным продуктом перекристаллизации является агрегат, состоящий из полиэдров – некристаллографических зерен, имеющих равновесную форму с минимальной для данного объема площадью поверхности.

Явление автолизии – очистки отдельных индивидов от механических включений с отгонкой последних в периферические части зерен и последующим выбросом в межзерновое пространство – общеизвестно. Движущей силой такой очистки служит все то же стремление к минимизации свободной энергии. В настоящей работе делается попытка доказательства существования аналогичной очистки, происходящей на более высоком уровне – на уровне агрегата. В связи с этим необходимо рассмотреть специфические свойства карбонатных агрегатов, способствующие твердофазному переносу зерен акцессорных минералов.

Главным свойством карбонатных агрегатов, ответственным за твердофазное перемещение акцессорных минералов, является низкая энергия активации миграции межзерновых гра-

ниц матрицы [Жабин, 1979]. Другими словами, энергии, достаточной для преодоления барьера и начала диффузионных процессов между зернами основного минерала (например, кальцита), недостаточно для того, чтобы начать процесс преобразования акцессорных минералов. Поэтому мигрирующие границы типа “карбонат-карбонат” отталкивают посторонние частицы, что в итоге приводит к пространственному перераспределению последних. Преобразования подобного типа свойственны как осадочным карбонатным породам, так и породам другого генезиса, в которых преобладают карбонаты, в частности, карбонатитам.

Пространственное перемещение акцессорных минералов, фиксируемое при реконструкции сингенетических структур в метаморфизованных карбонатитах, является следствием миграции границ зерен, происходившей при перекристаллизации основной карбонатной массы [Жабин, 1971]. В результате такой перекристаллизации зерна акцессориев смещаются незначительно, лишь на расстояния, соизмеримые с увеличением размера зерен основной массы. При этом однородность текстуры сохраняется. Поэтому одной только миграцией границ объяснить происхождение мономинеральных зон невозможно. Тем временем такие зоны наблюдаются в подавляющем большинстве метаморфизованных известняков. Особенно эффектны в этом отношении облицовочные известняки.

Мономинеральные кальцитовые зоны автору случалось наблюдать на множестве геологических объектов. В качестве примера следует привести известняки метаморфического обрамления Борисовского гранито-гнейсового купола (Кочкарский метаморфический комплекс, Южный Урал). В роли мигрирующей механической примеси здесь выступает глинисто-углеродистый материал (рис. 1). Вокруг мономинеральных участков, возникших при переотложении кальцита, отчетливо видны каймы сгущения микрочастиц, представленные ассоциацией глинистых минералов и органического вещества, что является подтверждением их пространственного перераспределения.

На рис. 2 демонстрируется шлиф метаморфизованного известняка из того же района. Полоса сгущения, наблюдаемая в центральной части шлифа, образовалась при замещении мелкозернистого кальцитового агрегата с равномерно распределенными акцессорными минерала-

ми более крупнозернистым агрегатом кальцита, свободным от акцессориев. При «наступлении» последнего на исходный агрегат происходит отталкивание некарбонатного материала, вследствие чего на фронте перекристаллизации происходит концентрация инородных частиц, которыми в данном случае являются зерна диagenетического пирита и глинистый материал. Вытеснение акцессорного материала здесь также происходит механически и вызвано перемещением границ разрастающихся зерен новообразованного кальцита.

Еще одним примером “мономинерализации” участков карбонатной породы может служить известное явление возникновения так называемых друз перекристаллизации, изученных А.Г. Жабиным [Жабин, 1979]. Суть феномена заключается в твердофазном перераспределении зерен минералов в ходе метаморфизма карбонатитов, в результате которого акцессорные магнетит, форстерит и апатит образуют кайму вокруг мономинерального кальцитового ядра. Наибольшее любопытство в этом явлении вызывает тот факт, что, в отличие от кальцита, магнетит, форстерит и апатит при пространственном перераспределении не проявляют тенденции к обособлению в мономинеральные скопления. Сама друзовая кайма, сложенная магнетитом и апатитом, является полиминеральным агрегатом. Различие в поведении кальцита и акцессориев в данном случае нельзя объяснить принадлежностью к разным классам химических соединений: магнетит, форстерит и апатит также относятся к разным классам, но сегрегаций не образуют.

Удивительное, на первый взгляд, свойство кальцита образовывать мономинеральные агрегаты путем механического удаления посторонних частиц, на наш взгляд, может иметь вполне логичное обоснование. Дело в том, что специфичность свойств кальцита по отношению к другим минералам как в карбонатитах, так и в осадочно-метаморфических карбонатных породах, действительно существует. Являясь основной составной частью агрегатов, этот минерал образует сплошную “сеть”, окутывающую дискретные участки инородных кристаллических решеток, его зерна не разобщены между собой, даже при значительных количествах акцессориев. Таким образом, в карбонатном агрегате существует своеобразный дальний порядок и различные участки идентичных решеток действуют сообща в стремлении к освобождению от

дефектов. Вероятно, такая “сеть” может действовать подобно кристаллической решетке одного индивида, выгоняющей все несовершенства за пределы зерна. В этом проявляется стремление поликристалла к увеличению степени “монокристалличности”, означающему увеличение термодинамической стабильности. Соприкосновение зерен кальцита между собой дает возможность работать межзерновым границам, миграция которых не требует больших энергетических затрат. Разрозненные частицы аксессуариев всех этих привилегий лишены: они никак не взаимодействуют, диффузионный обмен между ними затруднен, способных к миграции в данных условиях границ они не имеют и вынуждены подчиняться стремлению основной массы к очищению. Кроме того, зерна кальцита, имеющие наименьшую энергию активации межзерновых границ, имеют возможность увеличиваться в размерах диффузионным путем. Аксессуарные же частицы могут лишь агрегировать, образуя скопления зерен разных минералов без изменения размеров. Твердофазные пространственные перемещения могут быть вызваны только движением границ, которое в данном случае происходит при укрупнении зерен кальцита, вызывающем отталкивание инородных частиц. Следует также отметить, что энергетические затраты на образование зародышей кальцита на кальцитовой подложке намного меньше таковых для появления двухфазных сростаний.

Процесс образования мономинеральной кальцитовой зоны нам представляется в следующем виде. Сначала в неравновесной карбонатной породе появляются отдельные зерна, свободные от несовершенств – включений, дислокаций, деформационных напряжений и т.п. Они зарождаются в несовершенных зернах первичной породы и растут за счет растворения последних по рекристаллизационной схеме, что объясняется различной растворимостью крупных и мелких кристаллов. Новое зерно появляется в наиболее дефектном участке исходного зерна и, разрастаясь, полностью замещает его, выходя впоследствии за его пределы. Раствор, пропитывающий первичный неравновесный агрегат, для мелких несовершенных зерен является недосыщенным, в то время как для вновь образовавшихся крупных “чистых” зерен он пересыщен. Этим различием в растворимости инициируется переотложение вещества. Структурное совершенство новообразованного зерна

связано с тем, что кристаллизация протекает под воздействием повышенных давлений и температур, обеспечивающим активацию кристаллической решетки.

Зарождение новых генераций совершенных зерен в исходном агрегате, неизбежное вследствие действия внешних факторов, происходит в основном на поверхности уже существующих и развивающихся “чистых” зерен, в контактирующих с последними исходных несовершенных зернах. Это вызвано тем, что, вследствие пересыщения пропитывающего породу раствора, новообразованные зерна являются для потенциальных кристаллических зародышей своеобразным субстратом. Как известно, работа образования зародыша на готовой подложке меньше работы образования зародыша, со всех сторон окруженного питающим раствором. Следует считать, что возникновение зародыша в окружении мелких несовершенных зерен исходного агрегата равноценно зарождению во взвешенном состоянии. Новые генерации совершенных зерен появляются на поверхности уже имеющихся аналогичных зерен, так как такой вариант требует меньших энергетических затрат.

Зарождение и рост отдельных зерен быстро сменяется развитием скоплений новообразованных индивидов. Поскольку индивиды лишены дефектов, удовлетворяют условию минимума поверхностной энергии и плотно прилегают друг к другу, такие скопления обладают большей степенью “монокристалличности” относительно исходного неравновесного агрегата. В связи с этим, в ходе продолжающегося разрастания скопления, действуют подобно единому совершенному зерну. Раствор для них все так же остается пересыщенным, собирание вещества происходит именно на их поверхности. Иначе говоря, дальнейшее разрастание поликристаллического мономинерального “ядра” более вероятно, чем появление в исходной массе отдельных новых зерен.

Рост новых зерен может происходить только за счет мелких несовершенных зерен, находящихся в непосредственном контакте с первыми. Если предположить, что питающее зерно находится на некотором расстоянии от растущего зерна, становится неясным, чем заполняется освобождающийся при растворении объем. Если он заполняется веществом соседнего зерна, значит последнее увеличивается в размере и становится “новым” зерном. Таким образом, совершенные зерна питаются только

контактирующими с ними несовершенными, а разрастание групп зерен происходит за счет растворения исходного агрегата в непосредственной близости от поверхности сегрегаций. Размер зерен новообразованного агрегата определяется внешними условиями: при данных температуре и давлении зерна должны быть равновесными.

Наиболее интересным моментом процесса образования мономинеральных кальцитовых зон нам представляется сам акт смещения зерна акцессорного минерала, поскольку все фазы постоянно сохраняют твердое состояние. Неравновесные зерна, отдавая строительный материал разрастающимся зернам, уменьшаются. Возникают пространственные вакансии, немедленно занимаемые частицами акцессориев, которые “подталкиваются” движущимися границами разрастающихся зерен (рис. 3).

Еще одной причиной отторжения инородных частиц разрастающимся агрегатом является то, что возникающие на поверхности сегрегации новые зерна не вступают в молекулярное взаимодействие с зернами акцессорных минералов, т.е. не образуют с ними срастания. Причина такого избирательного поведения в образовании срастаний заключается в том, что контакт зерен одного и того же минерала энергетически более выгоден, чем контакт двух различных минералов. Свободная энергия зерна в мономинеральном агрегате значительно ниже таковой для минерала, находящегося в окружении других минералов. Поэтому нарастания новых зерен кальцита на акцессорные минералы не происходит.

Особого пояснения требует факт «отказа» вновь образующегося равновесного агрега-

та от захвата механических включений. Одной из причин отторжения служит упомянутая тенденция кальцита к образованию зародышей новых зерен на кальцитовой же подложке. Но главным фактором, определяющим механическую подвижность акцессорных минералов, является особое состояние кристаллической решетки основного минерала горной породы, испытывающей перекристаллизацию. Как известно, для начала этого процесса необходимо достижение энергии активации миграции межзерновых границ основного минерала. По данным С.З. Бокштейна [Бокштейн, 1971], энергия активации миграции границ не имеет ясного физического смысла, так как миграция является совокупностью процессов. Однако, как отмечает упомянутый автор, эта энергия для данного вещества близка к энергии активации самодиффузии. Поэтому можно предполагать, что кристаллическая решетка зерна, границы которого мигрируют, находится в активированном состоянии.

Активационное воздействие как на межзерновые границы, так и на кристаллическую решетку могут оказывать все те же внешние факторы – давление и температура. Согласно представлениям Г.Л. Поспелова [Поспелов, 1973], вследствие термобарической активации диффузионные потоки атомов и вакансий внутри кристаллов направляются к дислокациям внутри кристаллов, дефектам на их поверхности, границам между мозаичными блоками кристаллов и границами раздела между зернами кристаллов. Находясь в таком состоянии кристалл способен быстро избавляться от различных несовершенств. Если достигнута энергия

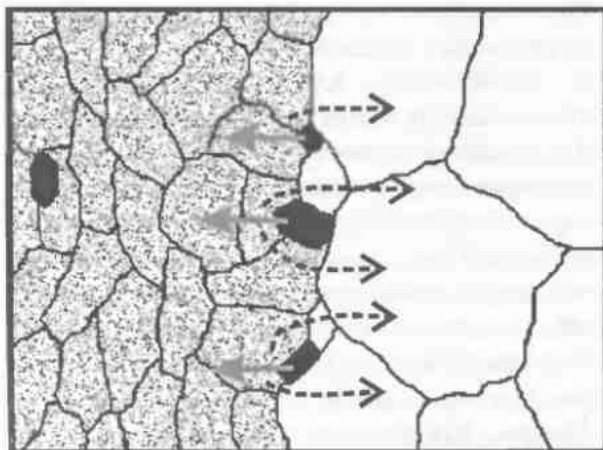


Рис. 3. Схема перемещения зерен акцессорных минералов при разрастании совершенных зерен кальцита в известняке.

Серые сплошные стрелки показывают направление перемещения, черные пунктирные – направление диффузионного переотложения карбонатного материала. Слева – исходный материал, справа – новообразованный. Черное – акцессорные минералы.

активации межзерновой диффузии (миграции границ), можно говорить о том, что кристаллическая решетка минерала также активирована. При разрастании зерна в таком состоянии захват механических примесей невозможен. Следовательно, происходит их оттеснение при участии кристаллизационного давления растущих зерен.

Как следует из приведенных рассуждений, образование мономинеральных зон побуждается процессами, существенно отличающимися от перекристаллизации в обычном смысле. Как известно, перекристаллизация происходит, как правило, вследствие миграции межзерновых границ, которая не может вызвать значительного механического переноса акцессорных минералов. В случае с мономинеральными зонами мы имеем дело с движущимся фронтом возникновения нового агрегата, поэтому подобное преобразование кристаллического агрегата более корректно было бы называть кристаллизационным замещением, нежели перекристаллизацией. Отличие этого явления от подобной, на первый взгляд собирательной, перекристаллизации заключается в том, что разрастание зерен происходит не в случайных точках, равномерно распределенных в агрегате, а в определенном направлении, что и обеспечивает существование фронта замещения. Поскольку перекристаллизация – это совокупность различных процессов, кристаллизационное замещение, вероятно, является одним из ее механизмов. Более того, такое замещение в силу специфики поведения метаморфизируемого карбонатного агрегата, должно быть неотъемлемой частью процесса перекристаллизации.

Следует отметить тот факт, что границы зерен в новообразованном агрегате не являются плоскими, поскольку формируются при грануломорфном росте, считать равновесными их нельзя. Судя по всему, в конечный продукт перекристаллизации – семейство изометричных полиэдров – этот агрегат преобразуется уже после стадии кристаллизации. Возможно, новообразованные зерна могут превращаться в полиэдры и без участия внешних факторов. Выравнивание границ, скорее всего, происходит самопроизвольно в течение длительного времени и направлено на окончательное и полное уравнивание агрегата. Субстратом для полиэдрического агрегата может служить только агрегат, лишенный грубых дефектов, иначе плоские границы не появятся. Именно таким является агрегат, возникающий в результате кристаллизационного замещения.

Итак, при фронтальном кристаллизационном замещении неравновесного карбонатного агрегата происходит зарождение зерен кальцита с совершенной кристаллической решеткой, на поверхности которых появляются новые генерации подобных зерен, что приводит к образованию сегрегаций. Сегрегации разрастаются, не захватывая зерен акцессорных минералов, вызывая их концентрацию на фронте замещения, т.е. на границе «старого» и «нового» агрегатов (рис. 4). Благодаря «мономинерализации» отдельных участков карбонатная порода приобретает пятнистую окраску. Последствия такого перераспределения минерального вещества отчетливо видны невооруженным глазом в подавляющем большинстве облицовочных разновидностей метаморфизованных известняков.

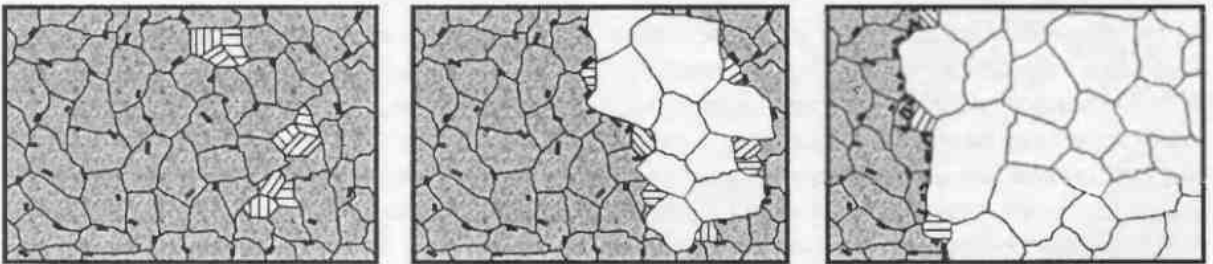


Рис. 4. Слева направо схематически показаны последовательные изменения карбонатной породы при развитии мономинеральных зон.

Слева – исходный агрегат, справа – мономинеральная зона, на их контакте – полоса сгущения акцессорных минералов. Заштрихованные участки – зарождающиеся очищенные зерна.

Обсуждаемое явление, вероятно, свойственно только таким горным породам, в которых преобладает какой-то один минерал, главной отличительной чертой которого является низкая энергия активации межзерновой диффузии. Если порода состоит из соизмеримых количеств нескольких минералов, перекристаллизация происходит путем коалесценции зерен и приводит к незначительному перераспределению вещества без нарушения однородности породы, причем зерна одних минералов смещаются лишь в интерстиции зерен других минералов.

Явление твердофазного перераспределения минеральных частиц в карбонатных породах имеет некоторые сходства с известным феноменом метаморфической дифференциации [Геологический..., 1973] в отношении появления зон мономинерального состава. Используемый в петрологии метаморфизма высоких ступеней термин «метаморфическая дифференциация» означает, согласно одной из трактовок, перераспределение вещества в результате диффузионных процессов миграции ионов, составляющих метаморфическую систему, под влиянием местных перепадов их химических потенциалов. Существуют и другие определения, также объясняющие это явление на атомно-молекулярном уровне. Возможность же участия твердофазного механизма перераспределения в литературе не упоминается. Учитывая то, что суть метаморфической дифференциации до сих пор окончательно не раскрыта, мы предполагаем, что в определенных случаях это явление связано именно с твердофазной миграцией твердых частиц. Возможно, образование мономинеральных кальцитовых зон при раннем метаморфизме карбонатных пород также следует относить к метаморфической дифференциации.

Из изложенного материала следует, что относительно слабое метаморфическое воздействие на карбонатную породу не вызывает смены минеральных ассоциаций. Преобразование породы на этом этапе является безреактивным, но мобилизация вещества все-таки происходит. За нее ответственна кристаллизационная очистка, следствием которой является формирование мономинеральных карбонатных участков, окруженных каймой сгущения акцессорных минералов. Этот механизм приспособления заключается в устранении лишь тех несоответствий с новыми условиями, которые относятся к избытку поверхностной энергии. Истинно мета-

морфические преобразования, как и метасоматоз, являются реакционным способом подчинения внешним условиям и соответствуют более высокому энергетическому уровню. При метаморфизме и метасоматозе приспособление к новым РТ-условиям проявляется не только в смене структуры породы, но и в смене минеральных ассоциаций. При кристаллизационном замещении действует только первый механизм.

Привнос вещества в процессе обсуждаемых преобразований породы исключается. Под упоминавшимся выше раствором понимается поровый флюид, неизменно присутствующий в любых карбонатных породах осадочного генезиса. В ходе структурно-текстурной перестройки изменения минералогического состава породы в рассматриваемом случае не происходит: во-первых, необходимые для начала реакций между карбонатом и акцессориями температура и давление не достигнуты; во-вторых, отсутствует привнос компонентов, способных обеспечить появление новых минералов.

В заключение отметим следующее. Структурно-текстурная перестройка и связанное с ней перераспределение минерального вещества, происходящие на раннем этапе метаморфизма карбонатной породы, определяется стремлением последней к равновесию с изменившимися термодинамическими условиями и направлены на минимизацию свободной энергии системы. В агрегации зерен акцессорных минералов также есть термодинамический смысл, так как она, аналогично процессу «мономинерализации», приводит к снижению поверхностной энергии. Указанные преобразования могут происходить в кристаллических агрегатах, преобладающая фаза которых имеет низкую, относительно других фаз, энергию активации самодиффузии. Одним из важнейших результатов таких преобразований является механическая концентрация акцессорных минералов вследствие их пространственного перераспределения. Выяснение масштабов этой концентрации и возможной рудогенерирующей роли подобных процессов представляет собой самостоятельную проблему и требует отдельного обсуждения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 00-15-98517, 01-05-96404).

Список литературы

Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 290 с.

Бокиштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. М.: Металлургия, 1971. 496 с.

Геологический словарь. М.: Недра, 1973. Т. 2. С. 77.

Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. Львов: Изд-во Львовск. гос. ун-та, 1961. 284 с.

Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: Наука, 1979. 275 с.

Жабин А.Г. Сингенез и метаморфизм карбонатов. М.: Наука, 1971. 168 с.

Попов В.А. Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 192 с.

Поспелов Г.Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. Новосибирск: Наука, 1973. 356 с.

Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. С. 632.

Япаскурт О.В. Катагенез осадочных пород. М.: Изд-во МГУ, 1991. 120 с.

Япаскурт О.В. Литогенез и полезные ископаемые мегосинклиналей. М.: Недра, 1992. 224 с.