ISSN 0135-3500. Зап.Санкт-Петербургского горного ин-та. 1993. Том 137

УДК 553.061.017

А.В.КОЗЛОВ

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РАМКИ МЕТАМОРФОГЕННОЙ МОДЕЛИ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Приняв за основу классификации эндогенных месторождений форму тепло-массообмена между земной корой и подкоровыми зонами, а также между различными уровнями внутри зоны рудоотложения, предложено выделить метаморфогенные месторождения в самостоятельную группу внутри класса гидротермальных месторождений. Рассмотрены факторы контроля метаморфогенной минерализации.

Для выяснения возможностей использования метаморфогенной модели рудообразования с целью прогнозирования необходимо определиться с ее местом в генетической классификации месторождений, поскольку дискуссионными является и сам факт выделения класса метаморфогенных месторождений и отнесение к нему конкретных рудных объектов.

В большинстве генетических классификаций метаморфогенные месторождения рассматриваются в одном ряду с эндогенными и экзогенными месторождениями (В.И.Смирнов, П.М.Татаринов, С.А.Вахромеев и др.), что предполагает единство положенных в основу этого подразделения признаков. Анализ с этих позиций предлагаемых классификаций позволяет утверждать, что при выделении эндогенных и экзогенных месторождений используется энергетический признак. Основным источником энергии образования экзогенных месторождений является солнечная энергия в различных ее проявлениях и трансформациях. Эндогенные месторождения образовались в результате поступления в земную кору внутренней энергии Земли, источники которой располагались или непосредственно в земной коре (энергия радиоактивного распада), или в подкоровых областях (энергия радиоактивного распада, гравитационная энергия). Последний вид энергии на ранних стадиях развития Земли реализовался в виде аккреционной энергии, а в более поздние периоды геологического развития Земли – в виде энергии, высвобождавшейся в результате разделения сболочек Земли и ее дегазации [13].

При использовании энергетического принципа на первом уровне генетической классификации метаморфогенные месторождения следует отнести к группе эндогенных месторождений, не выделяя их в самостоятельный класс.

В большинстве генетических классификаций в классе эндогенных месторождений выделяются магматические, пегматитовые, карбонатитовые и гидротермальные месторождения. На этом уровне также не выдерживается единый принцип классификации. Если проанализировать данную ситуацию с генетических позиций и принять во внимание, что на первом уровне месторождения подразделялись по источнику энергии рудообразования, то представляется целесообразным

в данном случае в качестве классификационного признака использовать механизм переноса энергии и вещества (или только энергии) к месту рудоотложения. По этому признаку достаточно отчетливо выделяются магматические и гидротермальные (флюидные) месторождения, для которых переносчиками энергии и существенной части вещества являлись соответственно магмы и гидротермальные растворы (флюиды). Учитывая преимущественно флюидно-магматический характер рудообразующих систем, для которых характерно чередование в пространстве и во времени флюидных и магматических процессов преимущественно в последовательности: ювенильные (интрателлурические) флюиды – магма – трансмагматические флюиды – постмагматические флюиды – транстектонические[x] (амагматические) флюиды, в качестве уточняющего признака можно принять способ образования рудных минералов. Для магматических месторождений – это кристаллизация рудных минералов из магмы; для гидротермальных – свободная кристаллизация из гидротермальных растворов или метасоматическое минералообразование в гидротермальной среде.

Месторождения, в которых рудные тела начинают формироваться из силикатных расплавов, а завершают свое образование из гидротермальных растворов, можно отнести к флюидно-магматическим месторождениям. Выделение этой группы отражает диалектику развития флюидно-магматических систем, в которых рудообразование может проявляться как в виде конечных членов этого ряда (магматических и гидротермальных месторождений), так и в процессе взаимодействия флюидов с магмами при совмещении в пространстве продуктов магматического и гидротермального минералообразования. Наиболее ярко этот вариант можно проиллюстрировать на примере камерных пегматитов, которые образуются в условиях относительно закрытой системы. В них минералы магматического и флюидного происхождения сменяют друг друга во времени, слагая последовательные зоны в пределах единых пегматитовых тел. На карбонатитовых месторождениях, которые формируются в относительно открытых системах, карбонатиты магматического и гидротермального происхождения разорваны в пространстве в пределах очень протяженных по вертикали флюидно-магматических колонн. Совмещаются в них обычно продукты более ранних магматических процессов и наложенных на них флюидно-метасоматических образований. Если в данном варианте систематики определить позицию карбонатитовых месторождений (в понимании В.И.Смирнова), то, с учетом доказанной к настоящему времени возможности их образования как из специфических карбонатных магм, так и метасоматическим путем из гидротермальных растворов, их отнесение к флюидно-магматическим месторождениям вполне обосновано. Этому не противоречит и механизм образования материнских для карбонатитов интрузий ультраосновного-щелочного состава, в котором существенная роль отводится флюидно-магматическим процессам [10]. Выделять в генетической классификации карбонатитовые месторождения в широком понимании

---

[x] Термин введен для более четкого отличия генетически не связанных с магматизмом метаморфогенных флюидов местной миграции от подкоровых флюидов зон глубинных разломов дальней миграции, в различной степени контаминированных коровыми флюидами.

этого термина, включая в них полезные ископаемые, связанные со всеми стадиями формирования массивов ультраосновных-щелочных пород и окружающих ореолов фенитизации, нецелесообразно, поскольку в круг этих месторождений попадают генетически совершенно разнородные объекты. Это уже не генетическая, а формационная группа, которую можно рассматривать на одном уровне с другими магматическими рудоносными формациями.

Для определения места метаморфогенных месторождений в ряду эндогенных образований полезно проследить эволюцию представлений о их генезисе. За начальную точку отсчета можно взять концепцию Г.Шнейдерхена [20] о "регенерированных месторождениях", согласно которой в фанерозое эндогенное оруденение реализовалось лишь дважды: в варисское время в Евразии и невадско-ларамийское время в Северной и Южной Америке. Все месторождения другого возраста являются регенерированными или по современной терминологии – метаморфогенными. Он же отмечает, что, по мнению Г.Баклунда, единственная в истории Земли металлогеническая эпоха была в докембрии, а связанные с ней руды впоследствии многократно седиментационно, псевдомагматически или метаморфно перерабатывались. Отсутствие четких критериев различия первичных и регенерированных месторождений затрудняет использование представлений Г.Шнейдерхена, и предложенная им классификация не получила широкого признания.

В более поздней классификации П.М.Татаринова [15] метаморфогенные месторождения выделены в самостоятельный класс на одном уровне с эндогенными и экзогенными месторождениями. Среди них рассмотрены метаморфические и метаморфизованные месторождения. К объектам первой группы отнесены только месторождения неметаллических полезных ископаемых, возникших в результате изохимического структурно-минерального преобразования исходных пород при региональном или контактовом метаморфизме. В группу метаморфизованных месторождений попали преимущественно осадочные месторождения, в той или иной степени преобразованные метаморфогенными процессами. В качестве примеров таких месторождений рассматриваются железистые кварциты, метаморфизованные марганцевые и фосфоритовые месторождения, метаморфизованные золотоносные конгломераты. На этом этапе была достигнута определенная ясность в выборе круга метаморфогенных объектов, которые не претендовали на место в других классификационных ячейках.

В монографии В.И.Смирнова [14] приведена практически аналогичная предыдущей классификация метаморфогенных месторождений, но круг их значительно шире. Среди метаморфизованных месторождений появляются полиметаллические объекты (Брокен-Хилл, колчеданные месторождения), а в группе метаморфических месторождений упомянуты альпийские жилы амфибол-асбеста и горного хрусталя. В этой монографии появляется также небольшой раздел: "Ультраметаморфизм и полезные ископаемые", в котором отмечается связь с ультраметаморфогенными процессами "...своеобразных псевдопегматитов...", которые иногда содержат промышленные скопления мусковита. Намеченные у В.И.Смирнова направления расширения круга метаморфогенных месторождений получили дальнейшее развитие в работах Я.Н.Белевцева, Ю.М.Соколова, Н.А.Корнилова, Н.А.Доб-

рецова, А.И.Кривцова и др., что позволило отнести к метаморфогенным в дополнение к ранее выделенным группы метаморфогенно-гидротермальных и ультраметаморфических месторождений. Появление этих генетических групп резко нарушило баланс в классификации эндогенных месторождений. Многие из них, относимые ранее к магматическим, пегматитовым или гидротермальным образованиям, начали рассматриваться в качестве объектов метаморфогенного генозиса. Причем если ранее к метаморфогенным относили только изохимические преобразования, то метаморфогенно-гидротермальная концепция в своем развитии от альпийских жил с местной миграцией элементов далеко продвинулась в сторону аллохимических процессов с дальним переносом вещества. Неопределенность границ между метаморфогенными и другими эндогенными месторождениями потребовала от сторонников расширенного понимания метаморфогенного рудообразования значительных усилий для доказательства правомерности выделения данной группы месторождений. При этом основное внимание обычно уделялось определению признаков, позволяющих отличать эти объекты от а л л о т о н о г е н н ы х гидротермальных (постмагматических) месторождений. Все усилия исследователей сводились к доказательству немагматической природы рудообразующих растворов и рудных элементов. Этим проблемам была посвящена научная сессия, проходившая в 1983 г. в г.Улан-Удэ, труды которой опубликованы [9]. Раздел, в котором специально рассматривается сравнительная характеристика метаморфогенно-гидротермального и постмагматического рудообразования, имеется в монографии В.А.Буряка [2]. К этим же вопросам неоднократно возвращаются авторы четырехтомного научного труда "Метаморфогенное рудообразование в докембрии" [3,6,17,18]. Однако во всех перечисленных и многих других опубликованных работах обходится стороной вопрос о взаимоотношениях и критериях отличия метаморфогенных и амагматических (транстектонических) гидротермальных месторождений, которые связаны с функционированием флюидов преимущественно подкорового происхождения в пределах зон глубинных разломов. Для уяснения этого вопроса обратимся к работам, в которых рассматривается генетически не связанное с магматизмом гидротермальное рудообразование.

В соответствии с представлениями П.Ф.Иванкина [7] фанерозойские подвижные пояса можно рассматривать в качестве призмы нарушенной мозаично-блоковой земной коры и активизированной мантии, в пределах которой осуществляется их активное и продолжительное взаимодействие, наиболее интенсивно протекающее в зонах глубинных разломов. К ним приурочены протяженные и длительно развивающиеся в земной коре флюидно-магматические колонны. Происходящие в них флюидно-магматические процессы подразделяются П.Ф.Иванкиным на три составные части, последовательно проявлявшиеся во времени: 1) опережающий поток восстановленных ювенильных газов с нарастающей во времени тенденцией их окисления; 2) колонна основных расплавов, сменяющихся на глубине ультраосновными; 3) тыловой поток высокотемпературных щелочно-кремнистых флюидов, приводящий к гранитизации ядерных частей сланцевых зон в условиях средних и больших глубин. Основная идея, которую автор стремиться обосновать, состоит в том, что в особых условиях глубинного раз-

лома эволюция ювенильных флюидов закономерно приводит к возникновению зональной колонны метаморфизма, регионального метасоматоза и эндогенного оруденения. По мнению П.Ф.Иванкина, возникшие в результате этих процессов месторождения не могут называться метаморфогенными, так как источниками металлов в них являются мантийные флюиды, определяющие и развитие метаморфизма. В данном случае метаморфизм и оруденение находятся в парагенетической связи. К аналогичному выводу пришла Л.Я.Шураева при изучении рудоносных карбонатно-щелочных метасоматитов докембрия [19], которые Я.Н.Белявцевым отнесены к типично метаморфогенным образованиям [18].

Если рассмотреть для сравнения схемы метаморфогенного рудообразования, предложенные В.А.Буряком [2] и Я.Н.Белявцевым [1], то можно во всех трех схемах найти, по крайней мере, одну общую черту: первичным во всех случаях является поток ювенильных флюидов, поступающих по глубинным зонам повышенной проницаемости, что является отражением сути всех эндогенных процессов, объединенных общим глубинным источником энергии. Если не учитывать малоэффективный кондуктивный перенос тепла в земную кору, то основными энергоносителями являются флюиды и магмы, посредством которых осуществляется основной тепломассообмен между земной корой и подкоровыми зонами. В ограниченных количествах он может реализоваться путем перемещения нагретого вещества в твердом состоянии (гранитогнейсовые диапиры, офиолитовые аллохтоны), но эти явления обычно проявляются не самостоятельно, а сопровождаются флюидно-магматическими процессами.

В рассмотренной схеме флюидно-магматического взаимодействия земной коры с подкоровыми зонами сосуществуют в тесной взаимосвязи магматические, флюидные и метаморфические явления и связанные с ними процессы рудообразования. Вычленение магматических, флюидных и метаморфических рудообразующих систем из природно-целостной системы эндогенного петрогенезиса может быть осуществлено только условно. Естественно, что столь же условными будут и устанавливаемые рамки этих систем. Представляется целесообразным к магматическим рудообразующим системам относить те из них, в которых рудное вещество в конечных пунктах локализации кристаллизуется из расплава. Флюидные и метаморфические рудные системы характеризуются отложением рудного вещества путем свободной кристаллизации или метасоматического замещения в гидротермальных условиях, что затрудняет их разграничение.

Для выделения системы метаморфогенного петрогенезиса можно использовать подчеркнутую Н.Л.Добрецовым [4] принципиальную особенность метаморфогенных гидротермальных растворов – их относительно медленную фильтрацию. В результате они успевают прийти в частичное или полное равновесие с вмещающими породами, буферирующими растворы по многим параметрам. Такую гидротермальную систему Н.Л.Добрецов называет "системой с местными буферами", в отличие от быстрофильтрующихся магматогенных и амагматических гидротерм, образующих систему с отдаленными буферами. Второй вариант системы может быть реализован или при достаточно быстром перемещении гидротермальных растворов по зонам повышенной проницаемости в земной коре, или в условиях относительно низкой проницаемости пород, но при высоких градиентах темпе-

ратуры, давления и химического потенциала рудных компонентов, что характерно для контактово-метасоматических грейзеновых, скарновых и других аналогичных систем.

Подводя итог рассмотрению места метаморфогенных месторождений в общей системе эндогенного рудообразования, предлагается в группу метаморфогенных месторождений выделять те рудные объекты, которые сформировались в практически изохимических условиях без существенного привноса рудного вещества как из магматогенных, так и из амагматических (преимущественно подкоровых) источников. В целом ареал метаморфогенных процессов представляет собой аномальную, но наиболее низкоградиентную зону взаимодействия земной коры с подкоровыми частями, на фоне которой осуществляются более динамичные, неравновесные, высокоградиентные и продуктивные в отношении рудообразования флюидно-магматические процессы. Поскольку все метаморфические преобразования пород осуществляются в гидротермальной среде, метаморфогенные месторождения можно выделить в самостоятельный тип внутри группы гидротермальных месторождений. В предлагаемом варианте генетическая классификация эндогенных месторождений будет выглядеть следующим образом:

1. Магматические
2. Флюидно-магматические
3. Флюидные (гидротермальные)
   - 3.1. Плутоногенно-гидротермальные
   - 3.2. Вулканогенно-гидротермальные
   - 3.3. Транстектонические гидротермальные (амагматические)
   - 3.4. Метаморфогенно-гидротермальные
   - 3.5. Гидротермально-осадочные

Метаморфогенно-гидротермальные месторождений могут быть связаны регинальным или контактовым (термальным) метаморфизмом. Во всех случаях рудообразование обусловлено процессами перекристаллизации, метасоматического и латераль-секреционного минералообразования с местной миграцией вещества.

Метаморфизованные месторождения как особую генетическую группу считают нецелесообразным выделять многие исследователи [12]. Даже в 4-томном капитальном труде "Метаморфогенное рудообразование в докембрии" В.С.Домарев высказывает мнение о том, что формации метаморфизованных месторождений нет надобности выделять, ибо закономерности их размещения в основном определяются особенностями первичного оруденения с добавлением свойств, возникших при соответственной степени метаморфизма [18]. Представляется также необоснованным отнесение к метаморфическим месторождений полезных ископаемых, руды которых приобрели необходимые технологические свойства вследствие метаморфизма исходных руд без изменения концентрации металла в руде, как предлагает Н.А.Корнилов [8]. Он относит железистые кварциты к метаморфогенным месторождениям, мотивируя это тем, что первичные железокремнистые осадки по технологическим особенностям не могут быть рудой, а приобретают необходимые технологические качества только в результате метаморфизма. Исходя из такой логики рассуждений, по мере совершенствования технологии обогащения одна и та же рудная концентрация может быть сначала отнесена к метаморфоген-

ной, а потом к осадочной или гидротермально-осадочной группам. Эта ситуация возникла в результате того, что генетическая классификация, как отмечает и сам Н.А.Корнилов, является в большей мере классификацией процессов рудообразования, а не месторождений. Это необходимо учитывать, поскольку месторождения почти всегда полигенны и не могут в связи с этим занять место в единственной классификационной ячейке.

Для определения возможностей использования метаморфогенной модели рудообразования для прогнозирования необходимо остановиться на рассмотрении возможных процессов образования рудных концентраций и факторов, контролирующих оруденение.

В целом низкоградиентные условия реализации регионального метаморфизма и квазиравновесный характер метаморфогенного флюида являются неблагоприятными для накопления рудного вещества с высокими коэффициентами концентрации. Однако сопровождающие региональный метаморфизм тектонические явления могут создавать в локальных объемах высокоградиентные условия, преимущественно связанные с перепадами давления; при адиабатических процессах они могут сопровождаться кратковременным понижением температуры.

Реализация бароградиентных условий может осуществляться как при пластической, так и при хрупкой деформации метаморфизуемых пород. Образование по данному механизму богатых железных руд рассмотрено Г.В.Тохтуевым [16]. Им описан будинаж пластов железистых кварцитов, при котором наблюдался вынос кремнезема из области шейки будин с образованием там богатых железных руд. Этот механизм может быть реализован в больших по масштабу пликативных структурах: флексурах, складках. Общим во всех случаях является процесс выноса кремнезема из областей повышенного давления в область более низкого давления. Для толщ, содержащих железистые кварциты, такими участками являются расплющенные замки изоклинальных складок, смыкающие крылья флексур, зоны кинкбандов. В микромасштабе этот процесс описывался неоднократно. Для примера можно взять рассмотренные А.Г.Кабиным обособления стебельчатого кварца в "тенях давления" сульфидных конкреций в аргиллитах и синхронное с этим процессом формирование микропрожилков кварца аналогичной структуры в трещинах, нормальных к кливажу [5]. Высокая подвижность кремнезема при процессах регионального метаморфизма и зависимость его растворимости в метаморфогенных растворах от давления приводит к его значительному перераспределению с выносом из зон повышенного давления в области пониженного давления. Если исходная порода представлена непромышленными или бедными рудами, то вынос из нее кремнезема может привести к образованию соответственно промышленных или богатых руд. Такой тип концентрации рудного вещества можно назвать о с т а т о ч н о - м е т а м о р ф о г е н н ы м. Он описан преимущественно на примере железистых кварцитов. Принципиальной особенностью данного варианта метаморфогенного перераспределения вещества является вынос кремнезема из аномальных участков повышенного давления, которые находятся в пределах однородного барического поля, характерного для данного типа и фации метаморфизма. При этом вынесенный кремнезем не образует локальных скоплений, а относительно равномерно распределяется в метаморфических породах в виде породообразующего кварца.

Промышленные концентрации кремнезема в виде безрудных кварцевых жил образуются в связи с аномальными участками пониженного давления на фоне относительно однородного поля давления. Этот вариант реализуется при возникновении синметаморфических трещин или трещинных зон. Рудовмещающими структурами в этом случае являются трещины межпластового отслоения или кливажа, в которых образуются согласные кварцевые жилы. Концентраторами секущих кварцевых жил являются преимущественно трещины скола или отрыва, которые образуются в блоках жестких пород, деформируемых совместно с вмещающими их более пластичными породами. Переотложение кремнезема в виде жильного кварца может происходить не только в трещинных полостях, но и метасоматическим путем в зонах разуплотнения пород (латентных структурах). Механизм образования таких структур и их рудоконтролирующее значение рассмотрены В.Н.Мораховским на примере слюдоносных зон [II]. Данный тип рудных концентраций можно называть *инфильтрационно-метаморфогенным*.

Контрастные термические неоднородности могут возникать при внедрении магм преимущественно в неметаморфизованные породы с образованием ореолов контактового метаморфизма. Структуры метаморфогенных месторождений данного типа являются унаследованными и отражают особенности размещения отдельных разновидностей пород, существовавшие до внедрения интрузий, с которыми связан термальный метаморфизм. Классическим примером таких объектов являются месторождения графита, образовавшиеся в результате термального метаморфизма углей.

Исходя из метаморфогенной модели рудообразования в предлагаемых рамках, формирование полезных ископаемых метаморфогенного происхождения связывается с изохимическими структурно-минеральными изменениями исходных пород или местным перераспределением вещества в пределах локальных участков высоких градиентов давлений или температур. Если в процессе образования полезных ископаемых реализуются только структурно-минеральные преобразования, то закономерности их размещения целиком определяются исходным распределением в геологическом пространстве соответствующих пород, типом и степенью их метаморфизма. Полезные ископаемые, образовавшиеся в результате местного перераспределения вещества, контролируются тектоническими зонами повышенного давления (остаточно-метаморфогенные концентрации) или синметаморфическими трещинными и латентными структурами (инфильтрационно-метаморфогенные концентрации). Последние обычно не образуют узких линейных зон, а дискретно распределяются в объеме метаморфических толщ, часто с определенной пространственной периодичностью. В резко анизотропных толщах рудовмещающие структуры могут контролироваться контактами различных по физико-механическим свойствам пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белявцев Я.Н. Источники рудного вещества при метаморфогенном рудообразовании // Источники рудного вещества эндогенных месторождений. Л.: Наука. 1976. С. 66–84.

2. Бурьяк В.А. Метаморфизм и рудообразование. М.: Недра, 1982. 256 с.

3. Геологические основы метаморфогенного минералообразования. Киев: Наукова думка, 1985. 188 с.

4. Добрецов Н.Л., Кривцов А.И. Модели магматогенно-гидротермального и метаморфогенно-гидротермального рудонакопления и критерии их отличия // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. Новосибирск: Наука, 1985. С. 5–14.

5. Жабин А.Г. Онтогения минералов. М.: Наука, 1979. 275 с.

6. Закономерности размещения и поисковые критерии метаморфогенных месторождений. Киев: Наукова думка, 1986. 184 с.

7. Иванкин П.Ф. Флюидно-магматогенные колонны глубинных разломов и прогноз оруденения // Глубинные условия эндогенного рудообразования. М.: Наука, 1986. С. 103–113.

8. Корнилов Н.Л. О классификации метаморфогенных месторождений // Метаморфогенное рудообразование низкотемпературных фаций и ультраметаморфизма. М.: Наука, 1981. С. 112–120.

9. Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных месторождений. Новосибирск: Наука, 1985. 176 с.

10. Маракушев А.А. Петрогенезис. М.: Недра, 1988. 294 с.

11. Мораховский В.Н. Латентные структуры и их роль в распределении слюдоносных жил // Геология, поиски и разведка нерудных полезных ископаемых / Ленингр. горный ин-т. Л., 1980. С. 43–49.

12. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 252 с.

13. Озима Н. Глобальная эволюция Земли. М.: Мир, 1990. 166 с.

14. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982. 669 с.

15. Татаринов П.М. Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. М.: Недра, 1963. 370 с.

16. Тохтуев Г.В. Роль тектоники в метаморфогенном рудообразовании // Метаморфогенное рудообразование низкотемпературных фаций и ультраметаморфизма. М.: Наука, 1981. С. 18–21.

17. Физико-химические основы теории метаморфогенного рудообразования. Киев: Наукова думка, 1985. 204 с.

18. Формации метаморфогенных рудных месторождений. Киев: Наукова думка, 1986. 166 с.

19. Шмураева Л.Я. Приразломные карбонатно-щелочные метасоматиты докембрия // Метасоматические процессы в докембрийских толщах. СПб: Наука, 1991. С. 243–250.

20. Шнейдерхен Г. Генетическая классификация месторождений на геотектонической основе // Рудные регенерированные месторождения. М.: ИЛ, 1957. С. 11–62.