

ГЕОЛОГИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 553.435 (470.5)

В.Ф.Рудницкий

КВАЗИЭЛИЗИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛЬСКОГО ТИПА

Генетические модели определяют и систематизируют условия и факторы образования месторождений. Новые концепции позволяют привлекать для прогнозирования не учтенные ранее поисковые признаки и критерии. Относительно генезиса колчеданных месторождений, как типичных представителей группы гидротермальных вулканогенных месторождений, оформились две группы моделей: классическая, или ортомагматическая, и конвективная, или рециклинговая.

Классическая гипотеза предполагает, что гидротермальные растворы и металлы поступали из тех же глубинных магматических очагов, которые питали рудовмещающие вулканогенные комплексы. Растворы, используя те же пути движения к поверхности Земли, что и расплавы, сопровождали вулканизм. По мнению сторонников этой гипотезы, причины рудообразования кроются в особенностях дифференциации и контаминации магматических расплавов.

Во второй половине 70-х годов Х.Омото, Е.Т.Спунером и др. предложена принципиально новая модель, основанная на предположении о конвективной циркуляции (рециркуляции) морской воды через толщи вулканогенных образований. Морская вода, проникая по трещинам на глубины первые километры, разогревается неглубокозалегающими интрузивами и, поднимаясь вверх, выщелачивает рудное вещество из вмещающих пород с последующим отложением его в местах выхода гидротерм на дне водных бассейнов. Необходимыми условиями активности рудообразующих систем такого типа, по П.Рона, являются: а) вулканический источник тепла; б) океаническая вода, в) проницаемая порода.

Автором выдвигается идея квазиэлизионной модели колчеданного рудообразования. Предполагается, что захоронение морских вод в вулканических впадинах, заполненных газонасыщенным раскаленным вулканокластическим материалом, обуславливает химическую агрессивность захороненных (седиментационных) вод, что в свою очередь приводит к метасоматическим изменениям вмещающих пород и выщелачиванию из них рудного вещества. Литификация толщ с участием инфильтрационного водообмена способствует выжиманию минерализованных седиментационных вод (гидротерм) с последующим осаждением рудного вещества на дне палеодепрессий.

Концепции образования колчеданных месторождений с участием вадозных вод основаны главным образом на результатах исследований изотопов водорода и кислорода. Установлено, что в составе рудообразующих растворов находилось лишь 5-10% ювенильной воды, остальная по своим характеристикам близка к океанической.

Обоснование квазиэлизионной модели основано на геологическом материале, накопленном

автором при многолетних исследованиях уральских колчеданных месторождений (Красноуральское, Кабанское, Зюзельское, Учалинское, Узельгинское, Сибайское, Маканское рудные поля).

Типовой разрез палеозойских островодужных формаций натрового ряда, в которых формировались уральские колчеданные месторождения, состоит из рудовмещающей толщи вулканитов кислого состава, подстилающих вулканитов основного состава и перекрывающих вулканогенно-осадочных отложений [1]. Рудовмещающие толщи имеют значительную мощность (до 1,0-1,5 км), а рудные тела в них располагаются на разных уровнях.

Формирование колчеданоносного разреза происходит в субмаринной обстановке, которая достаточно отчетливо определяется по наличию в толщах характерных для подводных условий вулканических пород (подушечных лав, гиалокластитов), осадочных отложений (турбидитов, подводного коллювия) и остатков морской фауны [7].

Палеовулканические реконструкции показывают, что колчеданные залежи приурочиваются к депрессионным структурам разного порядка и генезиса. Обширные (десятки километров) и относительно плоские кальдерные депрессии образуются в связи с базальтовым вулканизмом. К ним в большинстве своем тяготеют центры кислого вулканизма. Формирование вулканических депрессий в пределах кислых толщ обусловлено обычно двумя одновременными и взаимосвязанными процессами: ростом экструзивных куполов и просадкой прилегающих к ним участков, в основном, из-за оттока расплавленного вещества из недр. Такая обстановка приводит к образованию резко расчлененного рельефа с глубокими впадинами. Межкупольные и склоновые депрессионные структуры контролируют размещение колчеданных залежей.

Литолого-фауциальный анализ разрезов колчеданоносных палеодепрессий показывает, что они выполнены автохтонным газонасыщенным и раскаленным (на период формирования) вулканокластическим материалом, образованным преимущественно при дезинтеграции лавовых потоков. Он представлен эвтакситовыми и брекчиевыми лавами, ксенокластолавами, лаво- и гиалокластитам. Соотношение обломочных и компактных разновидностей, как правило, не менее 1. Депрессии, выполненные остывшим литокластическим материалом (вулканомиктовым и туфогенным), не содержат колчеданного оруденения.

Рудовмещающие разрезы в пределах депрессий характеризуются дискретным накоплением вулканокластического материала и состоят из закономерно повторяющихся генетически связанных наборов пород, сформированных в результате проявления вулканических циклов [3]. Строение элементарного эруптивного цикла кислого вулканизма характеризуется сменой сверху вниз следующих образований:

- 1) полимиктовые (с рудокластами) плохо сортированные вулканогенно-осадочные отложения (преимущественно подводный коллювий);
- 2) колчеданные руды;
- 3) переотложенные вулканокластиты (тефротурбидиты), гидрогенно-осадочные породы;
- 4) вулканокластические породы: лаво-гиалокластиты, образования пирокластических потоков;
- 5) брекчиевые и эвтакситовые лавы;
- 6) однородные лавы;
- 7) брекчиевые и эвтакситовые лавы.

Мощность эруптивных циклов варьирует в пределах 10 - 150 м.

Типичными околорудными гидротермально-измененными породами уральских колчеданных месторождений являются серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты. Среди них по ассоциациям главных минералов различаются три минеральные фации (зоны): 1) серицит-кварцевая, 2) серицит-хлорит-кварцевая, 3) хлорит-кварцевая. Изучение материала, полученного в связи с глубинными поисками, при которых глубокие горизонты ряда месторождений (Талганского, Чебачьего, Октябрьского и др.) были детально разбурены, позволило выделить нам в подрудной части уральских колчеданных месторождений преобразования, сходные с пропилитизацией в понимании Д.С.Коржинского, В.П.Логина, В.А.Русинова. Пропилитизированные породы сменяют серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты на глубину. Граница между ними, как правило, расплывчатая, с переходной зоной мощностью от первых метров до первых десятков метров, где породы частично замещены кварцем, серицитом. По данным автора [2], на уральских колчеданных месторождениях для пропилитизированных пород характерны: а) минеральные ассоциации: альбит + хлорит + пирит ± карбонат ± кварц, отвечающие условиям наиболее низкотемператур-

ной карбонат (альбит) - хлоритовой фации пропилитизации; в отличие от зеленокаменных пород в них отсутствуют эпидот, гематит, актинолит; б) так же, как и в зеленокаменных породах, в них отчетливо сохраняются текстурно-структурные особенности исходных вулканогенных пород; в) в отличие от зеленокаменных пород здесь развиты вкрапленность и прожилки пирита. Пропилитовые изменения с глубиной также затухают: исчезают вкрапленность и прожилки пирита, появляются эпидот, актинолит и другие минералы зеленокаменных вулканогенных пород. Мощность зоны пропилитизации составляет сотни метров, не превышая, вероятно, 1 км.

В геологическом разрезе ореол серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов и пропилитовая зона имеют стратиформное залегание. Серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты приурочены, как правило, к кислой толще и не проникают в перекрывающие ее вулканогенно-осадочные отложения. Граница серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов и пропилитизированных пород обычно совпадает с границей кислой и основной толщ, и пропилитовые изменения развиваются в вулканитах основного состава.

Палеовулканические реконструкции позволили рассмотреть положение гидротермально-метасоматических изменений в вулканических структурах. Площади развития преобразований как пропилитовых, так и серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов совпадают с контурами вулканических палеодепрессий и отсутствуют в участках с положительными формами палеорельефа. Зоны пропилитизации, имеющие более плоскую форму и большие по латерали размеры, приурочиваются к кальдерным депрессиям, заложенным при базальтовом вулканизме и контролирующим границы рудных полей. Ореолы серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов с прожилками и вкрапленностью сульфидов характеризуются более локальным распространением на склонах экстрезивных куполов, реже связаны с локальными впадинами базальтового основания [4].

Для серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов в идеальном случае характерно следующее строение. Основной объем метасоматического ореола занимают серицит-хлорит-кварцевые породы. Серицит-кварцевая и хлорит-кварцевая зоны имеют подчиненное распространение и расположены, как и колчеданные залежи, в верхней части ореола. В конкретных случаях зональность более сложная. Усложнение проявляется в первую очередь в том, что метасоматические ореолы часто имеют многоярусное строение, выражающееся в том, что в разрезе несколько раз повторяются зоны серицит-кварцевых и хлорит-кварцевых пород, фиксирующих близрудный уровень.

Для выяснения причин многоярусного строения ореолов серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов нами проведены сопоставление разрезов метасоматической зональности с теми же разрезами, где изучена цикличность накопления вулканогенных отложений [4,5]. Анализ показывает следующее: а) метасоматические зоны имеют конформное с границами вулканических циклов залегание, хотя по отношению к отдельным слоям внутри них имеет место и секущее положение; б) каждый эруптивный цикл имеет свой автономный зональный ореол изменений, в котором серицит-кварцевая и хлорит-кварцевая зоны, отражающие близрудный уровень, совпадают с его верхней частью. Чрезвычайно интересно то обстоятельство, что отдельные автономные ореолы в разрезе могут быть разделены слоями неизмененных пород, что наиболее отчетливо наблюдается на Сибайских месторождениях [5].

Положение автономных ореолов в целом, а также серицит-кварцевых зон контролируется наиболее прогнутыми участками палеодепрессий, которые фиксируются в первую очередь более мощными прослоями осадочных отложений. При миграции центра депрессий в процессе эруптивной деятельности перемещаются участки наибольшей гидротермальной проработки, в каждом случае тяготея к максимально прогнутым частям, что особенно заметно на Чебачьем месторождении. При этом на флангах характерно пилообразное выклинивание автономных ореолов и их смещение по латерали относительно друг друга.

Приуроченность околорудных изменений к депрессиям, стратиформное залегание метасоматических зон, многоярусное строение и связь ореолов изменений с циклами накопления вулканогенных пород являются существенными признаками, указывающими на участие в рудообразующей гидротермальной системе седиментационных вод.

Расчеты баланса вещества [6] позволяют сделать два важных вывода:

1. Миграция вещества при гидротермальных изменениях происходит в полузамкнутой системе, открытой для привноса лишь серы, углерода и водорода, которые могут заимствоваться

из океанической воды. Некоторые элементы (натрий, кальций, фосфор и марганец) частично выносятся и, вероятно, рассеиваются в водном палеобассейне. Кальций, возможно, в дальнейшем идет на образование известняков, которые часто завершают колчеданоносный разрез. Марганец имеет повышенные содержания в осадках перекрывающих толщ.

2. Рудное вещество (железо, медь, цинк) выщелачивается из подстилающих пропилитизированных пород в количествах, сопоставимых с запасами их на месторождениях.

Механизм колчеданного рудообразования с участием седиментационных вод представляется следующим образом (рис.1).

При излиянии потоков лав базальтового состава в подводных условиях в результате соприкосновения с водой происходит их дробление и автотермическое зеленокаменное преобразование. Рудные элементы (Fe, Cu, Zn), находящиеся в расплаве, при кристаллизации и одновременных преобразованиях концентрируются в эпидоте, гематите, амфиболах, на что указывает анализ их монофракций [6]. При базальтовом вулканизме, в основном в силу высокой текучести расплавов, образуется слабо расчлененный рельеф: плоские, но обширные депрессии и невысокие возвышенности. В палеодепрессиях, наряду с накоплением лав и обломочных разностей, происходит захоронение морских вод. Высокая температура и дегазация остывающих вулканогенных пород приводят к разогреву и химической активности седиментационных вод. Источником тепла являлись также, вероятно, интрузии габбро-диоритов, развитые в нижних частях подрудных базальтовых толщ. Начинается изменение (точнее, растворение) зеленокаменных пород, причем в первую очередь в создавшихся условиях неустойчивыми становятся эпидот, гематит, амфиболы. Рудные элементы из разрушаемого амфибола, эпидота, гематита, где отмечается их повышенное содержание, переходят в раствор. Вулканогенные породы последующих циклов извержений создавали литостатическое давление, в результате чего нижележащие захороненные воды (уже слабо минерализованные) поднимались в вышележащие горизонты, усиливая в них концентрацию рудных элементов. Такая многоступенчатая система накопления и выжимания нижележащих слабоконцентрированных седиментационных вод приводила к постепенному увеличению концентрации рудных элементов в растворе. Вероятно, что часть концентрированных захороненных вод в отдельных участках выжималась на дно палеодепрессий, образуя донный, слабо концентрированный раствор. Этот период гидротермальной деятельности проявлен зоной

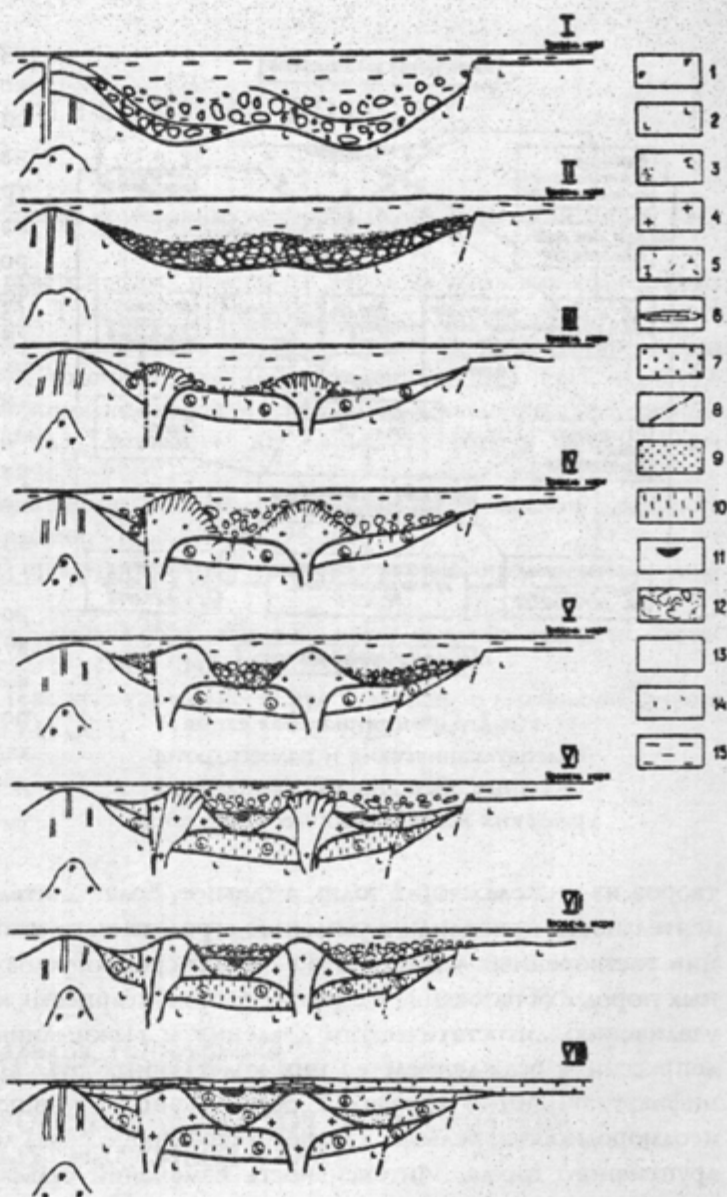


Рис.1. Этапы развития палеообстановок колчеданного рудообразования (I-VIII):

- 1 - габбро-диориты; 2 - базальты; 3 - их вулканокластические разности; 4 - экструзивы кислого состава; 5 - вулканокластические породы кислого состава; 6 - известняки; 7 - терригенно-осадочные породы; 8 - синвулканические разломы; 9 - серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты; 10 - пропилиты; 11 - колчеданные залежи; 12 - нелифитизированные вулканокласты; 13 - донные металлоносные рассолы; 14 - пути циркуляции растворов; 15 - морская вода

пропитализации. Преобразования носили характер выщелачивания и были, как правило, незначительными: а) в силу фактора времени интенсивные вулканические процессы приводили к постоянному перемещению захороненных вод и не позволяли им длительно воздействовать на вмещающие породы; б) депрессии в этот период были обширными и плоскими, что также препятствовало образованию высококонцентрированного химически агрессивного раствора. По этим же причинам не происходило массового отложения рудного вещества. Только в аномальных участках с дискретным и мощным накоплением вулканокластического материала в локальных впадинах могли образоваться залежи.

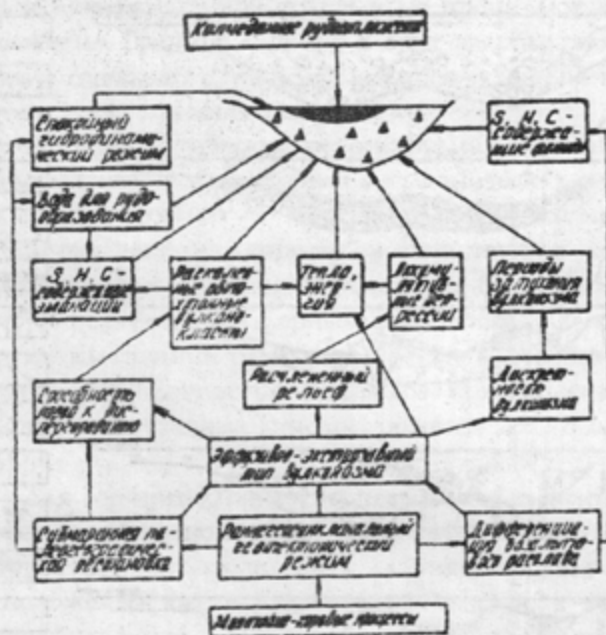


Рис. 2. Принципиальная схема палеовулканических и палеогидротермальных обстановок формирования уральских колчеданных месторождений

створов из нижележащих толщ, а главное, более длительные периоды затухания вулканической деятельности приводили к усилению агрессивности захороненных вод и увеличению концентрации растворенных веществ, что в свою очередь обусловило интенсивные изменения вулканогенных пород с образованием серицит-хлорит-кварцевых метасоматитов. Накопление пород вело к увеличению литостатического давления и выжиманию минерализованных растворов на дно депрессии с осадчением из них колчеданных руд. Циркуляции растворов способствовали и инфильтрационные процессы, обусловленные, главным образом, градиентом температур и неоднородностью рельефа. Причем такой процесс был многоактным и характерным для каждого эруптивного цикла. Интенсивность изменений сульфидной минерализации в каждом цикле определялась длительностью периодов затухания вулканизма, степенью диспергированности и количеством обломочного вулканогенного материала, динамикой его поступления, формой и масштабами рудоконтролирующих депрессий.

Гидротермально-осадочное рудоотложение эволюционирует во времени и очень чувствительно к изменению вулканической, сейсмоструктурной и гидродинамической обстановок. В спокойных условиях формируются массивные однородные руды и их комковатые разности, для которых характерны пластичные комки пиритового состава с контактовым или поровым цементом, содержащим повышенное содержание сфалерита [8]. Образование комковатых руд связано, вероятно, с диагенезом рудного геля. Спорадическое поступление обломочного материала в участки гидротермально-осадочного рудоотложения существенно искажает облик руд и обуславливает появление обломочно-цементных текстур. Обильный привнос вулканического материала может подавлять процесс поступления на дно палеодепрессий минерализованных растворов и приводить к рассеиванию сульфидной минерализации. При обрушениях, оползнях и размыве водными потоками ранее сформированных руд образуются слоистые, слоеватые и

В связи с кислым вулканизмом обстановка меняется существенно. Из-за высокой вязкости кислого раствора образуется сильно расчлененный рельеф: куполовидные поднятия экструзивных тел и чаще - трогообразные депрессии между ними или на склонах с разницей высот в сотни метров. Вулканизм был дискретным: вулканические процессы сменялись периодами затишья, которые, судя по мощности осадочных пород, были более длительными. Глубокие депрессии сравнительно быстро заполнялись мощными пачками обломочного раскаленного и газонасыщенного вулканогенного материала, при этом захоронялось значительное количество воды и частично слабо концентрированных донных растворов, образованных еще при базальтовом вулканизме. Повышенный тепловой поток в связи со становлением экструзивных куполов и гипабиссальных интрузий, локализация захороненных вод в относительно небольших впадинах, насыщение их магматическими эманациями, содержащими S, C, H, поступление минерализованных рас-

брекчированные разности нередко со значительной долей нерудного материала. Наиболее широко распространены три генетических типа терригенно-осадочных руд: а) турбидиты; б) флюксотурбидиты; в) подводный коллювий.

Одним из ключевых вопросов теории колчеданного рудообразования является объяснение причин его связи с определенными вулканогенными формациями, по классическим представлениям которая объясняется мантийно-коровыми процессами. Приведенные автором данные позволяют связывать рудообразование не только непосредственно с глубинными мантийно-коровыми процессами, но и с продуктами их становления в экзогенной обстановке через цепь взаимосвязанных процессов (рис.2).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокин В.А. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. - М.: Недра, 1977. - 176 с.
2. Рудницкий В.Ф. О новом типе метаморфических изменений пород на уральских колчеданных месторождениях // Доклады АН СССР. - 1981. - Т.260, N2. - С.440-443.
3. Рудницкий В.Ф. Положение колчеданных залежей в разрезе вулканогенно-осадочных пород Узельгинского рудного поля (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. - 1983. - N1. - С.40-49.
4. Рудницкий В.Ф. Гидротермально-метасоматические изменения пород колчеданных месторождений Узельгинского рудного поля (Южный Урал) // Известия АН СССР, сер. геолог. - 1983. - N1. - С.101-111.
5. Рудницкий В.Ф. Особенности ореола окolorудных изменений Сибайского медноколчеданного месторождения // Геология рудных месторождений. - 1985. - N2. С.94-100.
6. Рудницкий В.Ф. Миграция вещества при формировании уральских колчеданных месторождений // Геохимия. - 1987. - N6. - С.813-823.
7. Рудницкий В.Ф. Палеогеографические условия образования южноуральских колчеданных месторождений // Литология и полезные ископаемые. - 1988. - N2. - С.109-121.
8. Рудницкий В.Ф., Путинцева Е.В. Тектурная зональность руд Учалинского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Доклады АН СССР. - 1988. - Т.302, N2. - С.403-406.

УДК 321.6+553.491.8+662.5/470.5/

И.А.Малахов, П.Л.Бурмако

ТЕМПЕРАТУРА ФОРМИРОВАНИЯ ДУНИТОВ И ХРОМИТОВ ЗОНАЛЬНЫХ МАССИВОВ УРАЛА

Проводившееся в последние годы детальное геолого-петрографическое и геохимическое изучение ряда наиболее крупных и интересных в промышленном отношении зональных массивов Урала позволило детально разобраться на основе полученных многочисленных микрозондовых данных с составом оливинов и хромшпинелидов в дунитах и в ассоциирующих с ними различных текстурных типах хромитов, часто несущих богатую платиновую минерализацию [4,5]. С другой стороны, в геологической литературе за последние два-три десятилетия появился целый ряд геотермометров, позволяющих на основе оливин-хромшпинелевых равновесий вполне надежно определять температуру образования слагающих их пород и руд. Правда, обычно не рассматриваются принципиально важные вопросы, характеризуют ли эти равновесия первичные или вторичные минеральные равновесия, образующиеся в результате наложенных процессов метаморфизма, столь характерные для ультраосновных массивов Платиноносного пояса Урала.