

Часть 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОДИНАМИКИ, ГЕОЛОГИИ, МЕТАЛЛОГЕНИИ ПАЛЕООКЕАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В. В. Масленников

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

Вулканизм и рудообразование – генетические проблемы

Многие рудные месторождения, среди которых особо выделяются колчеданные, железорудные и марганцеворудные, ассоциируют с вулканогенными комплексами различного состава, что указывает на связь вулканизма и рудообразования. Однако пока еще остается не выясненным, эта связь генетическая или парагенетическая, и в какой форме вулканические процессы определяют особенности механизмов рудообразования.

В становлении вулканогенной концепции колчеданообразования решающее значение получили работы академика А. Н. Заварицкого [1927; 1943], показавшего на примере Урала и других колчеданоносных регионов, что колчеданные месторождения связаны не с орогенным и посторогенным гранитным процессом, завершающим образование складчатых областей, а с подводным вулканизмом самых начальных этапов развития геосинклиналей. В последующие десятилетия это положение было обосновано и получило развитие в многочисленных трудах исследователей колчеданоносных комплексов Урала и других регионов. Обобщение этих результатов, посвященных геодинамическим реконструкциям развития колчеданоносных зон Урала, представлено в работах М. Б. Бородаевской, В. В. Зайкова, С. Н. Иванова, К. С. Иванова, В. А. Коротева, Е. С. Контаря, А. М. Косарева, А. И. Кривцова, В. М. Нечухина, В. А. Прокина, В. Ф. Рудницкого, Д. Н. Салихова, И. Б. Серавкина, Т. Н. Сурина, Г. А. Петрова, Е. П. Ширая, Р. Г. Язевой и многих других. Важным итогом явилось совершенствование классификации колчеданных месторождений на основе связи типов с рудовмещающими формациями и геодинамическими обстановками [например, Prokin, Buslayev, 1999; Еремин и др., 2000; Зайков, 2006; Серавкин и др., 2017].

Тем не менее, многие колчеданные месторождения, также, как и некоторые современные «черные курильщики», ассоциируют не с вулканогенными, а с вулканогенно-осадочными и осадочными толщами, где проявления вулканизма являются эпизодическими или дистальными. В этом случае связь колчеданообразования с центрами эффузивных излияний и их составом отсутствует. В своих ранних работах А. Н. Заварицкий [1927] писал, что источником металлов рудных образований колчеданных месторождений являются выделения из магматического очага, откуда произошла и магма кварцевых альбитофиров. Таким образом, им установлена генетическая связь между субвулканическим магматизмом и колчеданоносностью. Впоследствии С. Н. Иванов [1983] предположил, что появление плагиогранитов в верхах колчеданоносных палеобазальтовых толщ свидетельствует о попадании в промежуточные очаги воды, что сопровождалось выносом железа, меди, цинка и

других рудных элементов. Реальность этого процесса доказана экспериментальными [Пуртов и др., 1997], петрографическими данными и расчетами баланса металлов [Прокин, 1981]. Кровля малоглубинных апобазальтовых тел плагиогранитов вскрыта на многих колчеданных месторождениях Урала (Макан, Подол, Таш-Тау). Поверхностными индикаторами таких колчеданообразующих очагов, «скрытых» под толщей вулканитов (Узельга, Александринское и др.), являются ксенокласты плагиогранитов, нередко встречающиеся в ксенолавокластитах рудоконтролирующих вулканогенно-осадочных горизонтов. Очевидно, аналогичные магматические очаги, продуцирующие как эпизодические извержения и силлы, так и гидротермальные потоки могли формировать колчеданные месторождения осадочной ассоциации.

В конечном итоге развитие идей А. Н. Заварицкого привело к пониманию особенностей глубоководного гидротермально-осадочного рудообразования [Иванов, 1968]. Последние десятилетия определилась ведущая роль гидротермально-осадочных процессов в формировании колчеданных месторождений.

Гидротермально-осадочные гипотезы на первом этапе поддерживались обнаружением металлоносных рассолов и сульфидных отложений в Красноморском рифте, на втором – открытиями придонных сульфидных построек – «черных курильщиков» в современных океанических рифтах и задуговых бассейнах. Эти открытия, казалось бы, должны были окончательно ответить на вопросы генезиса древних колчеданных месторождений. Однако на пороге нового тысячелетия обозначилась проблема противостояния двух концепций гидротермально-осадочного колчеданообразования – гидротермально-гидрогенно-осадочной модели выпадения сульфидов из «красноморских рассолов» и донно-гидротермальной модели роста и разрушения холмов «черных курильщиков» [Solomon et al., 2004]. Сторонники модели «черных курильщиков» обращают внимание на холмообразную форму некоторых колчеданных залежей, наличие пригидротермальной фауны, требующей присутствия кислорода, а также на присутствие рудокластических отложений и продуктов их субмаринного окисления [Зайков, 2006; Масленников, 2006]. Важным аргументом сторонников второй модели является обнаружение труб «черных, серых, белых и прозрачных палеокурильщиков» [Maslennikov et al., 2017].

Реконструкция онтогенеза неметаморфизованной колчеданной залежи по модели роста и разрушения «черного курильщика» в дальнейшем позволила на новом этапе показать влияние режимов вулканизма на форму, рудно-фациальный и минеральный состав колчеданных залежей [Масленников, 2012]. Режим вулканизма рассматривается как интенсивность чередования периодов вулканизма и перерывов в вулканической деятельности, необходимых для роста и разрушения сульфидных построек. Режим вулканизма может быть выражен отношением эффузивных и вулканогенно-осадочных (осадочных) фаций, участвующих в конкретном геологическом разрезе. В соответствии с этим, выделяются непрерывные, циклические и затухающие режимы вулканизма, отражающие интенсивность и динамику глубинных процессов в колчеданоносных структурах растяжения. В ряду от непрерывного режима к затухающему наблюдается уплощение формы рудных залежей от холмообразных построек до пластообразных и лентообразных слоистых сульфидных тел. В этом же ряду увеличивается количество рудокластических отложений, уменьшаются размеры рудокластов, сульфидные брекчии сменяются сульфидными турбидитами и диагенистами, исчезают типичные донные гидротермальные и гидротермально-биогенные фации. С этими же изменениями нередко согласуется смена высокотемпературных

(например, теллуридных и арсенидных) минеральных ассоциаций, низкотемпературными (например, галенит-сульфосольными или оксидно-железистыми, сульфатными) минеральными ассоциациями.

К настоящему времени стало ясно, что вулканизм – энергетически мощный процесс, в результате которого формируются разнообразные субвулканические гидротермальные, эксгальционные и донные гидротермальные рудные месторождения. Эта научная истина в последнее время становится догмой. Начиная с XIX века, некоторые типы железорудных и марганцеворудных месторождений, ассоциирующие с вулканитами, относились к вулканогенно-осадочным образованиям. При этом под термином «вулканогенно-осадочные» чаще всего понимались эксгальционные или гидротермально-осадочные рудообразующие процессы, обычно сопровождающие вулканизм. Однако вулканогенная природа рудных месторождений и металлоносных отложений оказалась богаче. Установлено, что железистые и марганцовистые породы (джаспериты, госсаниты и умбриты), образующие ареалы вокруг колчеданных месторождений Урала и других колчеданосных регионов, могут иметь не только обычно декларируемое гидротермально-осадочное происхождение, но и быть продуктами гальмиролиза сульфидно-гиалокластитовых и карбонатно-гиалокластитовых смесей в присутствии катализирующих бактерий [Maslennikov et al., 2012]. Очень важно, что в зависимости от pH - Eh условий гальмиролиз гиалокластитов может выносить или концентрировать не только подвижные элементы, но и те элементы, которые традиционно считаются немобильными (Al, Si, Ti и REE). Было сделано смелое предположение, что гальмиролиз гиалокластитов может быть основным процессом формирования многих рудных месторождений, включая железорудные и марганцеворудные.

Классическим примером железорудных месторождений, которые относятся к вулканогенно-осадочному генетическому типу, является месторождение Западный Караджал (Центральный Казахстан). Железные руды представляют собой переслаивание яшм, гематитовых и магнетитовых ферриолитов. Среди железорудных прослоев встречаются микробрекчиевые разновидности – джаспериты. Судя по реликтовым текстурам и структурам, джаспериты образовались в результате гальмиролиза гиалокластогенного материала. К этой же группе месторождений, очевидно, относятся магнетит-гематитовые месторождения типов Алгома (Канада), Лан-Диль (Германия) и Коргонский (Россия). Именно для месторождения Лан-Диль К. Гюммель [Hümmel, 1922] предложил модель гальмиролиза гиалокластитов и железнакопления, которая в послевоенные годы была забыта.

Начиная с XIX века, скарново-магнетитовые месторождения (тип Кируна), которые до сих пор традиционно считаются магматическими или гидротермально-метасоматическими, некоторыми исследователями рассматривались как вулканогенно-осадочные (гидротермально-осадочные) [Формозова, 1965; Рудницкий др., 2013]. Предполагалось, что магнетит образовался по исходному гематиту или гидроксидам железа. Однако эта точка зрения неоднократно опровергалась сторонниками гидротермально-метасоматической модели, поскольку в руде находились реликты карбонатного и вулканокластического материала. Действительно, с одной стороны, наблюдаются пластообразная форма и слоистость рудных тел, а также рудокласты, с другой – реликты частично замещенных гиалокластитов и известняков. «Примирить» эти факты могла бы гальмиролитическая модель железнакопления. Примером может быть крупное неметаморфизованное Качарское магнетитовое месторождение,

для которого связь с интрузивами и скарнообразованием не установлена. В надрудной толще месторождения встречаются ритмичные слои гиалокластитовых андезибазальтовых тефротурбидитов с характерной градационной дифференциацией обломочного материала. В кровле ритмов нарастает количество тонкодисперсного красного гематита, частично заместившего мелкие палагонитизированные гиалокласты. Гематит, в свою очередь, несет признаки замещения магнетитом. Это типичное проявление гальмиролиза и последующего катагенеза. Залегающие глубже залежи слоистых руд состоят из магнетита, иногда с псевдоморфозами сажистого пироксена по фауне.

Осадочные или гидротермально-осадочные модели доминируют при интерпретации гигантских месторождений «полосчатых железных руд» (тип BIF) или их метаморфизованных аналогов – месторождений «железистых кварцитов». Эти месторождения обычно ассоциируют с базальтами, их турбидитами или апобазальтовыми амфиболитами и карбонатными отложениями. Гидротермально-осадочные модели не могут ответить на ряд вопросов, среди которых, например, отсутствие подрудных кислотных метасоматитов, из которых выщелачивалось железо. В пользу гальмиролитической природы этих руд свидетельствуют реликты гиалокластического материала, микробрекчиевые апогиалокластитовые текстуры, механоглифы в подошвах рудных слоев, наводящие на мысль об их первично тефротурбидитовой природе. Реликты нитчатых железобактерий поддерживают идею гальмиролиза как биохимического процесса железнакопления.

Не менее проблематична модель гидротермально-осадочного формирования марганцевых месторождений, ассоциирующих с джасперитами, яшмами, гиалокластитами базальтового состава и карбонатными отложениями. Эта модель в настоящее время развивается на фоне успешных минералогических исследований марганцевых месторождений Урала [Brusnitsyn et al., 2017]. Анализ реликтовых микробрекчиевых текстур и структур рудовмещающих джасперитов, которые разными исследователями считались либо гидротермально-метасоматическими, либо гидротермально-осадочными, показывает, что они сформировались по гиалокластитам базальтового состава, содержавшим примесь карбонатов. Присутствие биоморфных бактериальных структур наводит на мысль об участии карбонатов и бактерий в процессах гальмиролиза гиалокластитов. Накопление марганца могло происходить в кровле пластов и линз преобразованных гиалокластитов в результате процессов диагенетической дифференциации. При этом, вероятно, не следует отрицать влияние газовых (H_2 , CH_4) эманаций на появление бактериальных матов, катализирующих процессы гальмиролиза гиалокластитов.

Если железные руды – продукты гальмиролиза гиалокластитов с полным выносом алюминия, то закономерно возникает вопрос о возможной природе бокситов, ассоциирующих с андезибазальтовыми гиалокластитами и известняками. Бокситы нередко ассоциируют с яшмами и содержат реликты гиалокластитов. Вероятно, формирование бокситов происходило по обратной схеме с концентрированием гидроксидов алюминия. Не исключено, что алюминий выносился при гальмиролизе гиалокластитов и формировании железных руд, а затем отлагался в виде гидроксидов на благоприятных для отложения поверхностях известняковых платформ, многие из которых имеют преимущественно бактериальное происхождение.

Говоря о вулканогенных месторождениях, нельзя не отметить возможность накопления фосфора при гальмиролизе вулканических стекол. Один из таких примеров

удалось обнаружить при изучении состава кремнистых пелитолитов Сибайского месторождения [Масленников, 1991]. Содержания фосфора в некоторых слоях алевропелитов, венчающих ритмы гиалокластитовых тефротурбидитов, достигали 10 мас. %. Гиалокластиты прошли стадию гальмиролиза с формированием колломорфных алюмосиликатов. В связи с этим следует упомянуть апатитовые тела на месторождениях типа Кируна, которые также могут иметь гальмиролитическое происхождение.

Гидротермальные золоторудные месторождения вулканогенной ассоциации имеют широкое распространение. Интересно в этом случае обнаружить донные золоторудные залежи по аналогии с современными субмаринными эпитегрмальными рудопоявлениями [Herzig et al., 1999]. Например, на Березняковском месторождении (Южный Урал), которое считается мезо- или эпитегрмальным, на границе вулканогенной и вулканогенно-осадочной толщ встречено маломощное (30 см) пластообразное тело полосчатых сплошных сульфидных руд, напоминающих колчеданные. Остается проблематичной связь вулканизма с первичным накоплением золота в черносланцевых формациях, которые послужили источником для орогенных метаморфогенно-гидротермальных месторождений гигантов.

Таким образом, понимание роли вулканизма в рудообразовании видится более многогранным, чем только проявление гидротермальных и гидротермально-осадочных рудообразующих процессов. Необходимо введение в модели рудообразования еще одного важного процесса, связанного с вулканизмом, а именно, гальмиролиза гиалокластитов и их смесей с фоновыми осадками при активном участии бактериальных каталитических процессов.

Литература

- Еремин Н. И., Дергачев А. Л., Сергеева Н. Е., Позднякова Н. В. Типы колчеданных месторождений вулканической ассоциации // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 2. С. 177–190.
- Заварицкий А. Н. Геологический очерк месторождений медных руд на Урале. Л., 1927. Ч. 1. 157 с.
- Заварицкий А. Н. О генезисе колчеданных месторождений // Изв. АН СССР, сер. геол. 1943. № 3. С. 3–18.
- Зайков В. В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданосных зон Урала и Сибири). Изд. 2-ое, доп. М.: Наука, 2006. 428 с.
- Иванов С. Н. Введение / Колчеданные месторождения СССР. М.: Наука, 1983. 222 с.
- Иванов С. Н. О гидротермально-осадочном рудообразовании // Геология рудных месторождений. 1968. № 1. С. 128–132.
- Масленников В. В. Литологический контроль медно-колчеданных руд (на примере Сибайского и Октябрьского месторождений Урала). Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 141 с.
- Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В. В. Морфогенетические типы колчеданных залежей как отражение режимов вулканизма // Литосфера. 2012. № 5. С. 96–113.
- Прокин В. А. Причины связи колчеданных месторождений с вулканогенными породами / Вопросы петрологии и металлогении Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. Т. 1. С. 173–174.
- Пуртов В. К., Егорова Л. Г., Котляров В. А. Экспериментальная характеристика системы базальт–P₂O–КСД–NaCl–SiO₂ при температурах 600–800 °С и давлении 1 кбар // Уральский минералогический сборник № 6. Миасс: ИМин УрО РАН, 1997. С. 149–161.

Рудницкий В. Ф., Алешин К. Б., Кузнецов А. Ж., Иванченко В. С. Строение магнетитовых залежей Евстунинского железорудного месторождения на Среднем Урале // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 6. С. 546–562.

Сервакин И. Б., Косарев А. М., Пучков В. Н. Геодинамические условия формирования колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала и критерии для их поисков // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 3. С. 220–237.

Формозова Л. Н. Генезис и формационный анализ докембрийских железных руд Северной Швеции // Рудоносные вулканогенно-осадочные формации геосинклиналей. М.: Наука, 1965. С. 7–46 (Тр. ГИН СССР, вып. 141).

Brunitsyn A. I., Starikova E. V., Zhukov I. G. Mineralogy of low grade manganese sediments of the Urals: petrological and geological applications // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 140–152.

Herzig P. M., Petersen S., Hannington M. D. Epithermal-type gold mineralization at Conical Seamount: a shallow submarine volcano south of Lihir Island, Papua New Guinea // in Stanley, C. J. et al. (eds.) Mineral Deposits: Processes to Processing. Rotterdam, Balkema, 1999 P. 527–530.

Hümmel K. Die Entstehung eisenreicher Gesteine durch Halmurose // Geol. Rundschau. 1922. Vol. 13. P. 40–81.

Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Herrington R. J., Danyushevskiy L. V., Large R. R. Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals // Ore Geology Reviews. 2012. Vol. 47. P. 5–41.

Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V., Herrington R. J., Ayupova N. R., Zaykov V. V., Lein A. Yu., Tseluyko A. S., Melekestseva I. Yu., Tessalina S. G. Chimneys in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 64–106.

Prokin V. A., Buslaev F. P. Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. 1999. V. 14. P. 1–69.

Solomon M., Tornos F., Large R. R., Badham J. N. P., Both R. A., Kin Zaw. Zn-Pb-Cu volcanic-hosted massive sulphide deposits criteria for distinguishing brine pool-type from black smoker-type sulphide deposition // Ore Geology Reviews. 2004. Vol. 25. P. 259–283.

А. М. Косарев

*Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа
amkosarev@mail.ru*

Магнитогорская колчеданоносная мегазона, Южный Урал: геохимическая, металлогеническая и геодинамическая зональность

Геохимическая зональность островодужных систем и их металлогеническая зональность имеют однонаправленную полярность и связаны с градиентной системой зоны субдукции, при погружении которой происходит возрастание P и T , изменение состава субдукционных флюидов и магм, условий выплавления магм в мантийном клине и в зоне перехода мантия – нижние части новообразованной коры, возможности экстракции и концентрации рудогенных элементов в магмах и флюидах разного состава.

Зональность вулканических поясов вкост простирания Магнитогорской мегазоны на Южном Урале с запада на восток по направлению погружения субдукционной плиты заключается в нарастании в восточном направлении в разрезе позднеэзмско-