

Эволюция состава гидротермальных растворов свинцово-цинкового месторождения Джимидон (Северная Осетия, Россия)

Грознова Е.О., Абрамов С.С.

ИГЕМ РАН, Москва, Россия, grozelena@yandex.ru

The evolution of hydrothermal fluids composition at the Djimidon Pb-Zn deposit (North Osetia, Russia)

Groznova E.O., Abramov S.S.

IGEM RAS, Moscow, Russia, grozelena@yandex.ru

Summary. The evolution of hydrothermal fluids was estimated by compositions of chlorites and ore minerals, fluid inclusions data and gas chromatography results. The main trend of temperature evolution is a steep decrease, but each stage started at higher temperature environment than the previous one. General model of ore deposition is as follows 1) mixing of fluids of two types: first –reduced (Fe- and S-rich) and, probably, ore-bearing, and second – oxidized (Mg-rich) vadose water; 2) cooling of a hotwater (nonboiling) geothermal fluid.

Месторождение Джимидон расположено в восточной части Садонского рудного поля. В структурном отношении оно приурочено к области восточного погружения Садоно-Унальской горст-антиклинали, контролирующей размещение основных полиметаллических месторождений района. Джимидон является характерным представителем жильного типа оруденения, не выходящего на поверхность. В строении месторождения участвуют разновозрастные образования, представленные различными по составу породами осадочного, магматического и метаморфического комплексов, слагающих два структурных этажа. Нижний - сложен метаморфическим комплексом пород буронской свиты (Pr₂-Pz₁) и позднепалеозойскими гранитоидами садонского типа, а верхний - нижнеюрскими вулканогенными отложениями. Рудные тела локализованы, в основном, в породах доюрского фундамента. Главными рудными минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, минералы висмута и серебра встречаются реже, среди жильных минералов преобладает кварц, различные по составу карбонаты и хлорит встречаются в подчиненном количестве. Гидротермальное минералообразование на месторождении происходило в течении пяти стадий: 1) дорудной кварц-полевошпатовой 2) пирит-арсенопиритовой, 3) халькопирит-сфалеритовой, 4) арсенопирит-сфалерит-галенитовой, 5) пострудной кварц-флюорит-баритовой.

Нами рассмотрены основные механизмы рудообразования на месторождении Джимидон по данным изучения флюидных включений в кварце и сфалерите и при интерпретации химизма минералов с переменным составом - хлорит и сфалерит.

Флюидные включения. Изучены флюидные включений в кварце и сфалерите различных минеральных ассоциаций. Минералообразующие флюиды в течение многостадийного процесса формирования свинцово-цинкового оруденения испытывали существенные изменения в режиме температур, солёности и состава растворов. (Грознова и др., 2006). В начале процесса, от дорудной к I и началу II рудной стадии температура раствора возрастала плавно (от 215 до 320 °C), а его солёность менялась незначительно (от 2.5 до 12 мас.%-экв.NaCl), а на рубеже III рудной стадии наблюдается резкие колебания температуры (до 450 °C), и концентраций рудообразующих флюидов (до 20 мас.%-экв.NaCl). Na-хлоридный состав минералообразующего раствора сохранялся в период всего процесса, при формировании минеральных ассоциаций III рудной стадии, помимо Na-хлоридных, также принимали участие флюиды Mg (Fe, Ca)-хлоридного состава.

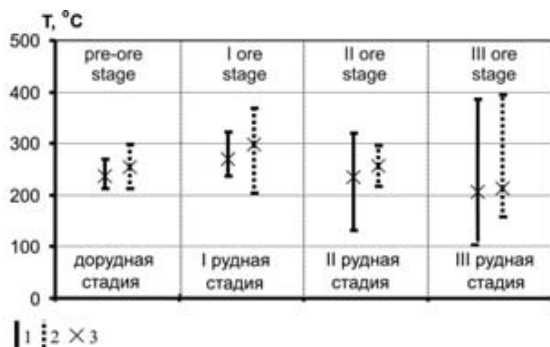


Рис. 1. Сопоставление температур гомогенизации флюидных включений (ФВ) в кварце и сфалерите с температурами образования хлоритов из рудных жил месторождения Джимидон. 1 – температуры гомогенизации ФВ в кварце и сфалерите; 2 – температуры образования хлоритов; 3 – средние значения температур.

Fig. 1. Comparison of homogenization temperatures of fluid inclusions (FI) in quartz and calculated temperatures of chlorites formation (Cathelineau, 1988) from ore veins of the Djimidon deposit. 1 – homogenization temperatures of FI in quartz and sphalerite; 2 – temperatures of chlorites formation; 3 – mean temperatures.

формировались в диапазоне от 300 до 230°C, а III стадии – 250- 150°C. Таким образом, на фоне постепенного снижения температур гидротермального процесса, каждая последующая стадия частично перекрывает диапазон температур предыдущей стадии минералообразования. Температуры образования хлоритов согласуются с определениями по данным ФВ (рис. 1).

Вариации составов хлоритов обнаруживают две разнонаправленные тенденции, характеризующиеся либо падением магнезиальности (I стадия), либо ее ростом (II и III

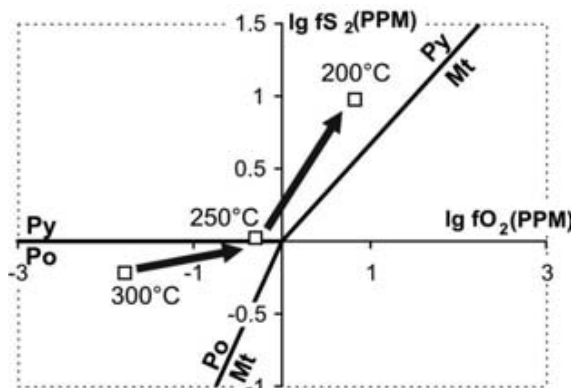


Рис. 2. Значения активностей серы и кислорода гидротермального флюида для рудных стадий месторождения нормированных на значения буфера пирит-пирротин-магнетит.

Fig. 2. Activities S_2 и O_2 of hydrothermal fluids of ore stages normalized by values of pyrite-pyrrhotite-magnetite buffer (PPM).

Важной особенностью флюидного режима при формировании минеральных ассоциаций каждой стадии является практически постоянное (кроме пострудной стадии) присутствие в составе флюидов углекислоты, содержащей небольшую примесь метана. Заметные количества CO_2 получены для флюидов дорудной стадии. Ее содержание во флюидах I рудной стадии снижается незначительно, но возрастает при отложении минералов II и особенно III рудной стадии. В этот период при увеличении солёности растворов, по-видимому, происходило так называемое «высаливание» углекислоты, приводившее к гетерогенизации флюидной системы на водно-солевую и газовой-углекислотную составляющие. При этом характерные признаки кипения флюида, не наблюдались. Давление изменялось слабо – в пределах 426...290 бар.

Составы хлоритов. Используя эмпирический термометр Каселини (Cathelineau, 1988) оценены температуры образования хлоритов: дорудных – в диапазоне 220-300°C, рудных I – возрастает до 370°C, хлориты II рудной стадии

формировались в диапазоне от 300 до 230°C, а III стадии – 250- 150°C. Таким образом, на фоне постепенного снижения температур гидротермального процесса, каждая последующая стадия частично перекрывает диапазон температур предыдущей стадии минералообразования. Температуры образования хлоритов согласуются с определениями по данным ФВ (рис. 1). Вариации составов хлоритов обнаруживают две разнонаправленные тенденции, характеризующиеся либо падением магнезиальности (I стадия), либо ее ростом (II и III стадии). Рост железистости хлоритов и рост температур может быть связан со сменой обстановок минералообразования и переходом от режима контактового метаморфизма к режиму фильтрации горячеводного гидротермального флюида. В ассоциации с сульфидами железа Fe/Mg отношение в хлоритах определяется равновесием: $Chl_{Fe} + S_2 = FeS_2 + Chl_{Mg}$. (Shikazono, Kawahata 1987, Bryndzia, Scott, 1987). Рост потенциала серы при низком f_{O_2} приводит к образованию сульфида железа в ассоциации с все более магнезиальным хлоритом. Поэтому можно было бы связать наблюдаемый рост магнезиальности хлоритов с ростом активности H_2S , но этому противоречит установленная нами тенденция падения активности серы на фоне роста окислительных условий (рис. 2).

Состав гидротермального раствора может меняться под воздействием следующих основных процессов: 1) гидротермального изменения боковых пород (буферное воздействие на растворы) 2) фазовая сепарация раствора; 3) смешение растворов контрастного состава.

Процессы гидротермального изменения боковых пород. Как указывалось ранее (Черницын, 1985, Ляхов и др. 1994), литологический состав продуктивных толщ не оказывает существенного влияния на размещение и тип оруденения, лишь определяя морфологию рудных тел. Это подтверждает сохранность дорудных богатых Mn обособлений с кнебелитом, замещающимся кариопилитом. Однако, вторичные процессы носят отчетливо метаморфический характер: уже в нескольких сантиметрах от кнебелит-кариопилитового агрегата фиксируются эпидот-хлоритовые ассоциации с рядовыми содержаниями Mn, следовательно массообмен между гидротермами и боковыми породами отсутствовал. Таким образом, составы гидротерм в жилах месторождения вряд ли испытывали буферное воздействие со стороны боковых пород на данном уровне эрозионного среза гидротермальной системы.

Фазовая сепарация раствора. Наши данные о составе флюидных включений (Грознова и др. 2006), также как и предшествующие работы (Ляхов и др. 1994) свидетельствуют о том, что гидротермальные растворы на всех этапах развития месторождений Садонской группы были гомогенными.

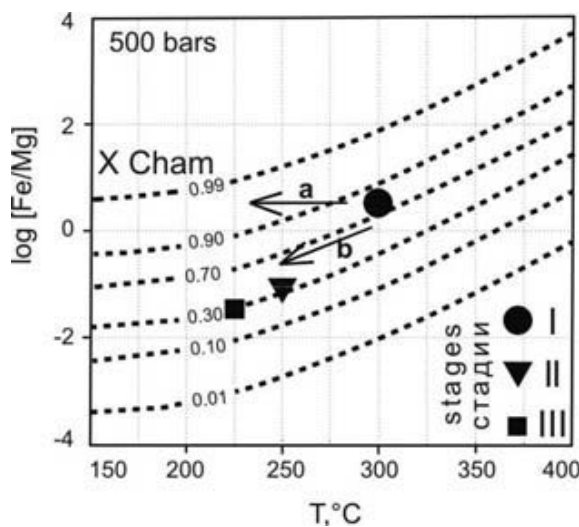


Рис. 3. Изменение состава хлорита осаждающегося из раствора постоянного состава с падением температуры (тренд а), и осаждающегося при смешении гидротерм с вадозовыми растворами (тренд b), по данным (Saccocia, Seyfried, 1994). Пунктир – изоплеты железистости хлорита, точки – составы хлоритов месторождения Джимидон по стадиям.

Fig. 3. Changes composition of chlorites precipitated from cooling fluid fixed composite (arrow a), and from fluid are results mixing hydrothermal (juvenile) fluid and vadoze water (arrow b) (Saccocia, Seyfried, 1994). Dashed lines – isopleths of Fe/Mg+Fe ratio in chlorites, points – composite of chlorites of ore stages of Djimidon ore deposits.

Смешение растворов контрастного состава. Данные по химизму хлоритов и хроматографии ФВ позволяют определить две разнонаправленные тенденции развития гидротермального процесса: 1 – рост температур минералообразования и железистости гидротермальных растворов; 2 – отчетливо регрессивный характер изменения температур, рост магнезиальности растворов и окислительного потенциала. На ранних стадиях месторождения в эволюции растворов преобладала первая тенденция, начало II стадии характеризуется ростом магнезиальности растворов, хлоритов и окислительного потенциала, что свидетельствует о смене стиля эволюции состава растворов и хлоритов. Природа первого флюида дискуссионна и не рассматривается. О наличии восстановленного и высокотемпературного глубинного флюида свидетельствуют «скачки» температур в начале каждой новой стадии, установленные по данным изучения ФВ и зафиксированные в зональности хлоритов II. Возможно, в результате тектонических подвижек отделяющих рудообразование разных стадий, доля горячих восстановленных растворов возрастала (либо закрывались каналы подводящие метеорные воды), что и отражалось в росте температуры и уменьшении магнезиальности растворов на рубеже перехода от обстановок II стадии к обстановкам III стадии и в зональности хлорита.

Магнезиальность хлорита осаждаемого из гидротермального охлаждающегося раствора постоянного состава должна слабо уменьшаться (Saccocia, Seyfried, 1994) (рис. 3, линия а), а увеличение магнезиальности хлорита на фоне снижения температуры образования связано со смешением исходных растворов с вадозовыми Mg –содержащими водами (рис. 3, линия б).

Эволюция состава хлоритов месторождения Джимидон находится на тренде отвечающем процессу смешения. Следовательно, рост магнезиальности и возрастание окислительных условий можно связать с появлением в гидротермальной системе вадозовых окисленных вод, доля которых в составе гидротерм возрастала от I к III рудной стадии. Смешение рудоносных Fe - серосодержащих растворов (начало I стадии) с окисленными высокомагнези-альными водами инициировало процессы рудообразования, поскольку в результате росла магнезиальность системы, что приводило к разрушению гидросульфидных комплексов и осаждению ассоциации магнезиальный хлорит + сульфид. К началу III стадии концентрация серы (и рудных металлов) в растворе уменьшается на 5 порядков, и хотя флюид еще находится в поле устойчивости ассоциации хлорит + сульфид железа (рис. 2), продуктивность рудного процесса уменьшается. Дальнейшее смешение приводит к росту активности кислорода и прекращению рудоосаждения (пострудная стадия).

Основными событиями развития гидротермальной системы месторождения Джимидон являются: 1) инициация гидротермальной системы, вызванная потоком восстановленных геотерм с высокой железистостью и содержащих рудные компоненты (I стадия); 2) смешение рудоносных геотерм с вадозными окисленными водами; привнос вадозовых вод в начале процесса смешения смещает равновесие в сторону осаждения магнезиального хлорита в ассоциации с сульфидами (II стадия), но по мере увеличения доли вадозных вод в гидротермальных ассоциациях становятся устойчивы окислы железа и сульфаты (III стадия и пострудная стадия). Отсутствие процесса кипения и околожильного метасоматоза указывает на рудоосаждение вследствие процесса охлаждения поднимающихся геотерм, что характерно для Pb-Zn оруденения (Сверженский, 1992).

Литература:

- Грознова Е.О., Добровольская М.Г., Коваленкер В.А. и др. Минералогия и РТ-условия образования свинцово-цинковых руд месторождения Джимидон (Северная Осетия, Россия) // Геология рудных месторождений. 2006. №2. С. 126–154
- Ляхов Ю.В., Поздеев К.М., Тибилов С.М., и др. Термобарогеохимическая модель рудной зональности и оценка перспектив Садонского свинцово-цинкового района // Руды и металлы. 1994. №2. С. 45-54
- Сверженский Д.А. Расчет термодинамических свойств водных частиц и растворимости минералов в надкритических растворах электролитов // Термодинамическое моделирование в геологии. Ред. И. Кармайкл, Х. Ойгстер. М.: «Мир». 1992. С. 193-223
- Черницын В.Б. Металлогения свинца и цинка (на примере Кавказа и Донбасса) Киев: «Наук. Думка». 1985. 272 с.
- Bryndzia T. L., Scott S. D. The composition of chlorite as a function of sulfur and oxygen fugacity : an experimental study// Amer. Jour. Sci. 1987. V. 287. № 1. P. 50-76
- Cathelineau M. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. // Clay minerals, 1988. V. 23. № 4. P. 471-485
- Saccocia P.J., Seyfried E.W. Jr. The solubility of chlorite solid solution in 3.2 wt.% NaCl fluids from 300-400 C , 500 bars// Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. V. 58. № 2. P. 567-585
- Shikazono N. & Kawahata H. Compositional differences in chlorite from hydrothermal altered rocks and hydrothermal ore deposits. // Canadian Mineralogist, 1987. V. 25. P. 3. P. 465-474