

**Физико-химические условия гидротермальных систем древних и современных «черных курильщиков» (данные по флюидным включениям)**

Симонов В.А.

*ИГМ СО РАН, Новосибирск, Россия, simonov@uiggm.nsc.ru*

**Physical and chemical conditions of ancient and contemporary "black smokers" hydrothermal systems (data on fluid inclusions)**

Simonov V.A.

*IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia, simonov@uiggm.nsc.ru*

**Summary.** The comparative analysis of results of fluid inclusions in minerals from Siberia and Ural sulphide ore deposits study with original data on inclusions in minerals from sulphide constructions of contemporary hydrothermal fields in oceans (Simonov et al., 2002, 2005; Bortnikov, Simonov, Bogdanov, 2004) has given the chance to obtain the new information on physical and chemical conditions of ancient and modern «black smoker» hydrothermal systems.

**Введение.** В последние годы накапливается все больше геологических и минералогических данных о сходстве колчеданных месторождений Сибири и Урала с «черными курильщиками» гидротермальный полей на дне современных морских и океанических бассейнов. Сравнительный анализ информации о современных объектах с данными по рудным месторождениям дает возможность наиболее достоверно расшифровать условия рудообразования. Большое значение в этих исследованиях имеет изучение флюидных включений в минералах, позволяющее получать прямую информацию о физико-химических параметрах рудообразующих систем, независимо от их возраста.

Основой для исследования флюидных включений послужили коллекции сульфидных руд, собранные преимущественно во время совместных с сотрудниками Института минералогии УрО РАН экспедициях на колчеданных месторождениях Сибири и Урала. В ходе сравнительного анализа использовались оригинальные данные по включениям в минералах из современных «черных курильщиков» (Симонов и др., 2002, 2005; Бортников, Симонов, Богданов, 2004), полученные в результате изучения образцов, предоставленных для исследований сотрудниками Института океанологии РАН (г. Москва) и Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (г. Москва).

Флюидные включения исследовались с помощью методов термометрии и криометрии (Ермаков, Долгов, 1979; Реддер, 1987) в термокамерах и криокамерах оригинальных конструкций (Симонов, 1993). Для получения наиболее достоверной информации анализировалось порядка 50-100 включений для каждого образца. Все экспериментальные исследования флюидных включений проведены в Институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск.

В качестве эталонных объектов для сравнительного анализа физико-химических параметров древних и современных гидротермальных рудообразующих систем использованы оригинальные данные по колчеданным месторождениям Кызыл-Таштыг (Восточная Тува) и Валенторское (Северный Урал). Учитывая то, что эти месторождения формировались в условиях палеогеодинамической системы островная дуга – задуговой бассейн (Симонов и др., 1999; Каретин, 2000; Зайков, 2006; Масленников, 2006; и другие), для сравнения использовались в основном данные по флюидным включениям в минералах сульфидных руд из гидротермальных полей задуговых бассейнов Тихого океана (Симонов и др., 2002, 2005; Бортников, Симонов, Богданов, 2004; Binns et al., 1993; Vanko et al., 2004).

**Кызыл-Таштыгское рудное поле (Восточная Тува).** В состав Кызыл-Таштыгского рудного поля, располагающегося среди кембрийских базальт-риолитовых комплексов Улугуйской зоны, входит собственно само месторождение Кызыл-Таштыг и несколько рудопроявлений (Зайков, 2006). Для выяснения физико-химических условий гидротермальных рудообразующих систем исследовались флюидные включения в барите из главного рудного тела Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения, а также в барите и в кварце из рудопроявлений Перевальное, Каровое и Пиритового кара. С целью определения параметров постмагматических гидротермальных процессов были проанализированы флюидные включения в кварцевых вкрапленниках из андезитов и в карбонатах из миндалин базальтовых порфиритов.

Включения в барите главного рудного тела Кызыл-Таштыгского месторождения. Исследования показали, что флюидные включения обладают температурами эвтектик  $-24$  -  $-25^{\circ}\text{C}$ , что говорит о преобладании NaCl с примесью KCl. Растворение последних кристалликов наблюдалось в интервале  $-2.0$  -  $-5.5^{\circ}\text{C}$ , что свидетельствует о солености 3-8.5 мас.%. Температуры гомогенизации составляют  $150$ - $270^{\circ}\text{C}$ .

Включения в барите рудопроявления Перевальное. Флюидные включения обладают следующими характеристиками: температуры эвтектик  $-22$  -  $-24.5^{\circ}\text{C}$ , температуры плавления последних кристалликов  $-1.7$  -  $-2.8^{\circ}\text{C}$  и температуры гомогенизации  $122$ - $256^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, параметры рудообразующих гидротермальных растворов следующие: состав - NaCl+H<sub>2</sub>O (с примесью KCl), концентрация солей -  $2.5$ - $4.3$  мас.%, минимальные температуры -  $122$ - $256^{\circ}\text{C}$ .

Включения в барите рудопроявления Каровое. Криометрический анализ флюидных включений показал, что, судя по замеренным температурам эвтектик, в составе минералообразующих растворов преобладает NaCl с незначительными примесями KCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Концентрация солей, определенная по температурам плавления последних кристалликов ( $-1.3$  -  $-3.4^{\circ}\text{C}$ ) составляет  $1.9$ - $5.2$  мас.%. Температуры гомогенизации флюидных включений в барите рудопроявления Каровое составляют  $112$ - $348^{\circ}\text{C}$ , что хорошо согласуется с данными по включениям предыдущих исследователей (Калеев, 1990).

Включения в кварце рудопроявления Пиритового кара. Криометрические исследования флюидных включений в кварце показали, что температуры эвтектики растворов составляют  $-26$  -  $-32^{\circ}\text{C}$ , то есть среди солей в системе кроме NaCl присутствует MgCl<sub>2</sub>. Преобладающие концентрации солей  $1.5$ - $4$  и  $7$ - $9$  мас.%. В результате экспериментов в термокамере было выяснено, что преобладают включения с температурами гомогенизации  $110$ - $140^{\circ}\text{C}$ .

Включения во вкрапленниках кварца из андезита. В кварце андезитов, содержащем расплавные включения (Симонов и др., 1999), были проанализированы вторичные флюидные включения, представляющие постмагматические гидротермальные растворы. Криометрический анализ флюидных включений показал, что температуры эвтектики составляют от  $-27.5$  до  $-31^{\circ}\text{C}$ , т.е. среди солей преобладает NaCl, с примесью MgCl<sub>2</sub>. Концентрации солей -  $4.7$ - $7.2$  и  $8.1$ - $14.4$  мас.%. Встречаются и значительно более концентрированные (до  $17.8$  мас.%) растворы. Эксперименты в термокамере показали, что преобладают включения с температурами гомогенизации  $145$ - $179^{\circ}\text{C}$  и более редко до  $230^{\circ}\text{C}$ .

Включения в карбонате из миндалин базальтовых порфиритов. Флюидные включения имеют следующие температуры эвтектик от  $-24.5$  до  $-26^{\circ}\text{C}$ , то есть преобладают соли натрия (NaCl) с примесью KCl. Соленость растворов не более  $2.5$ - $5.5$  мас.%. Температуры гомогенизации рассмотренных включений  $110$ - $140^{\circ}\text{C}$  и более редко до  $275^{\circ}\text{C}$ .

**Валенторское месторождение (Северный Урал).** Валенторское колчеданное месторождение располагается среди силурийских риолит-базальтовых комплексов в северной части Тагило-Сакмарской зоны (Каретин, 2000; Масленников, 2006). Для

выяснения физико-химических параметров гидротермальных рудообразующих систем исследовались флюидные включения в кварце, заполняющем подводящие каналы и сульфидные трубы.

*Включения в кварце подводящих каналов.* Исследования показали, что для кварца подводящих каналов очень характерным является присутствие в одной зоне явно сингенетичных разнофазных флюидных включений (Симонов и др., 2007). Одновременно находятся в тесной ассоциации: однофазные жидкие включения + двухфазные (жидкость и газ) + однофазные газовые включения + более редкие многофазные включения (содержащие жидкость, газовый пузырек и кристаллические фазы). Эта ассоциация разнообразных включений, образовавшихся одновременно, близка по своим особенностям к сингенетичным существенно газовым и высококонцентрированным существенно жидким флюидным включениям в минералах из современных гидротермальных построек, что является доказательством процессов фазовой сепарации гидротермальных растворов (Vanko et al., 2004). Таким образом, рассмотренные нами флюидные включения прямо свидетельствуют о фазовой сепарации флюида, протекавшего по подводящим каналам в нижней части рудной залежи на Валенторском месторождении.

При исследовании в криокамере было выяснено, что температуры эвтектики варьируют в пределах  $-23.5$  -  $-26.5^{\circ}\text{C}$ , то есть в составе растворов кроме преобладающего NaCl присутствует примесь KCl. Выделяется одна группа включений с соленостью растворов 5.6-8.9 мас.%. Термометрические исследования показали, что основная группа двухфазовых включений имеет температуры гомогенизации в интервале  $140$ - $180^{\circ}\text{C}$  и до  $220^{\circ}\text{C}$ . С учетом поправки на давление температуры гидротермальных растворов -  $160$ - $240^{\circ}\text{C}$ .

*Включения в кварце сульфидных труб.* В ходе экспериментов в микрокриокамере было выяснено, что температуры эвтектики варьируют в пределах  $-21$  -  $-22.5^{\circ}\text{C}$ , то есть в составе растворов кроме преобладающего NaCl возможно присутствие примеси  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Выделяется одна группа включений с соленостью растворов 0.5-7 мас.%. Термометрические исследования показали, что основная группа включений имеет температуры гомогенизации в интервале  $106$ - $170^{\circ}\text{C}$  и до  $200^{\circ}\text{C}$ . Вводя поправки на давление, получаем температуры гидротермальных растворов –  $125$ - $190$  и до  $220^{\circ}\text{C}$ .

**Сравнение результатов исследования флюидных включений в минералах из древних и современных гидротермальных полей.** Проведенные исследования флюидных включений показали определенное сходство физико-химических характеристик гидротермальных систем, действовавших на дне древних и современных морских бассейнов.

1. Установленные с помощью флюидных включений параметры рудообразующих растворов на Кызыл-Таштыгском рудном поле (солевой состав - преобладает NaCl с примесями KCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{MgCl}_2$ ; соленость - от 1.5-5 до 7-9 мас.%; минимальные температуры – от  $110$ - $140$  до  $220$ - $350^{\circ}\text{C}$ ) в целом соответствуют результатам исследования включений в барите из современных гидротермальных систем задугового бассейна Вудларк, Тихий океан: состав -  $\text{NaCl}+\text{KCl}+\text{Na}_2\text{SO}_4$ , концентрация солей - 2.7-6.9 мас.%, температуры гомогенизации флюидных включений -  $203$ - $316^{\circ}\text{C}$  (Бортников, Симонов, Богданов, 2004; Binns et al., 1993). Данные по рудообразующим системам Кызыл-Таштыгского рудного поля также хорошо согласуются с результатами исследований флюидных включений в минералах из сульфидных руд гидротермальной постройки «Венский лес» задугового бассейна Манус на западе Тихого океана: соленость - от 1.6 до 7.6 мас.%, минимальные температуры – от  $120$  до  $320^{\circ}\text{C}$  (Симонов и др., 2002).

2. Исследования с помощью флюидных включений постамагматических растворов на месторождении Кызыл-Таштыг показали гораздо более высокие концентрации солей (8-14 и до 18 мас.%), по сравнению с гидротермальными системами, непосредственно ответственными за образование сульфидных руд. Столь высокая соленость постамагматических растворов связана с наличием в их составе магматогенных флюидов.

3. В кварце подводящих каналов Валенторского месторождения установлена

ассоциация образовавшихся одновременно разнофазных включений, близкая по своим особенностям к сингенетичным существенно газовым и существенно жидким флюидным включениям в минералах из современных гидротермальных построек бассейна Манус (Vanko et al., 2004), что является доказательством процессов фазовой сепарации гидротермальных растворов.

4. Анализ флюидных включений показал, что параметры гидротермальных растворов в подводящих каналах (соленость - 5.6-8.9 мас.%, минимальные температуры – 160-240°C) и в сульфидных трубах (соленость - 0.5-7 мас.%, минимальные температуры – 125-220°C) Валенторского месторождения частично совпадают с данными по включениям в минералах из «черных курильщиков» задугового бассейна Манус (Тихий океан).

5. Сравнивая полученные параметры рудообразующих растворов, формировавших сульфидные трубы и циркулировавших по подводящим каналам, видим отличия гидротермальных систем, действовавших в нижних частях и в верхних горизонтах Валенторского месторождения. На более глубоких уровнях установлены процессы вскипания, в то время как сульфидные трубы на поверхности дна палеобассейна формировались преимущественно из гомогенных растворов. Глубинные гидротермы обладают повышенными значениями солености (5.6-8.9 мас.%) и температур (160-240°C) в отличие от растворов на дне бассейна (0.5-7 мас.% и 125-220°C). Есть различия и по солевому составу. Если в случае гидротермальных систем в подводящих каналах преобладает NaCl с примесью KCl, то в трубах на фоне хлорида натрия присутствует Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, то есть при подъеме в верхние горизонты в рудообразующих растворах повышалась роль серы.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта совместных исследований Сибирского и Уральского отделений РАН (№ 6.8), и программы Минобрнауки Российской Федерации (проект РНП.2.1.1.1840).

#### **Литература:**

- Бортников Н.С., Симонов В.А., Богданов Ю.А. Флюидные включения в минералах из современных сульфидных построек: физико-химические условия минералообразования и эволюция флюида // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 1. С. 74-87.
- Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. М.: Недра. 1979. 271 с.
- Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. М.: Наука, 2006. 429 с.
- Калеев Е.А. Генетические типы колчеданного оруденения и условия формирования Кызыл-Таштыгского рудного поля (Восточная Тува) // Дисс... канд. геол.-мин. наук. Красноярск. 1990. 220 с.
- Каретин Ю.С. Геология вулканические формации района Уральской сверхглубокой скважины СГ-4. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН. 2000. 278 с.
- Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: Имин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. 632 с.
- Симонов В.А. Петрогенезис офиолитов (термобарогеохимические исследования). Новосибирск: Изд-во ОИГТМ СО РАН. 1993. 247 с.
- Симонов В.А., Арсентьева Е.А., Масленников В.В. Фазовая сепарация рудообразующего флюида в гидротермальных системах Валенторского колчеданного месторождения (Северный Урал) // Металлогения древних и современных океанов – 2007. Гидротермальные и гипергенные рудоносные системы. Том I. Миасс: ИМин УрО РАН. 2007. С. 123-128.
- Симонов В.А., Бортников Н.С., Лисицын А.П., Викентьев И.В., Богданов Ю.А. Физико-химические условия минералообразования в современной гидротермальной постройке «Венский лес» (задуговой бассейн Манус, Тихий океан) // Металлогения древних и современных океанов – 2002. Формирование и освоение месторождений в офиолитовых зонах. Миасс: ИМин УрО РАН. 2002. С. 61-68.
- Симонов В.А., Зайков В.В., Ковязин С.В. Палеогеодинамические условия развития гидротермальных систем Кызыл-Таштыгского месторождения (Восточная Тува) // Металлогения древних и современных океанов – 99. Рудоносность гидротермальных систем. Миасс: Имин УрО РАН. 1999. С. 16-23.

- Симонов В.А., Третьяков Г.А., Тереня Е.О., Масленников В.В. Физико-химические параметры гидротермальных систем «черных курильщиков» в древних и современных задговых бассейнах // Геология морей и океанов. Том. 1. М.: ГЕОС. 2005. С. 295-296.
- Binns R.A., Scott S.D., Bogdanov Yu.A., Lisitzin A.P. et al. Hydrothermal oxide and gold-rich sulfate deposits of Franklin Seamount, Western Woodlark basin, Papua New Guinea // Economic Geology. 1993. V. 88. N 8. P. 2122-2153.
- Vanko D.A., Bach W., Roberts S., Yeats C.J., Scott S.D. Fluid inclusion evidence for subsurface phase separation and variable fluid mixing regimes beneath the deep-sea PACMANUS hydrothermal field, Manus Basin back arc rift, Papua New Guinea // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. B03201. P. 1-14.