

**В. А. Симонов<sup>1</sup>, В. В. Масленников<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> – *Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,  
г. Новосибирск*

*simonov@igm.nsc.ru*

<sup>2</sup> – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

<sup>3</sup> – *Южно-Уральский государственный университет, г. Миасс*

### **Физико-химические параметры палеозойских гидротермальных рудообразующих систем Урала и Рудного Алтая: данные по флюидным включениям в минералах**

Совместные исследования сотрудников Уральского и Сибирского отделений РАН позволили получить значительный объем данных об условиях гидротермальных рудообразующих процессов, принимавших участие в формировании палеозойских колчеданных залежей Урала и Рудного Алтая. Сходство уральских месторождений с гидротермальными полями на дне современных океанов было показано ранее [Зайков и др., 1995; Масленников, 1999; 2006; и др.]. Результаты исследования рудно-алтайских сульфидных комплексов свидетельствуют о том, что их формирование также было связано с гидротермальными системами типа современных «черных курильщиков» на дне морских бассейнов [Масленников и др., 2007; Масленников, Симонов, 2012].

Анализ флюидных включений из минералов коллекций, собранных во время совместных экспедиций на колчеданных месторождениях Урала (Яман-Касы и Валенторское) и Рудного Алтая (Артемьевское и Камышенское), дал возможность установить физико-химические параметры палеозойских гидротермальных систем. Для выяснения наиболее полной картины действия палеогидротермальных растворов и их влияния на рудообразующие процессы исследовались флюидные включения в минералах не только сульфидных руд, но и в кварце из кислых магматических пород, тесно ассоциирующих с сульфидными залежами. В первом случае были выяснены параметры собственно рудообразующих гидротерм, во втором – анализ включений дал информацию о постмагматических флюидах, оказавших непосредственное влияние на рудообразование.

Флюидные включения изучались методами термобарогеохимии [Ермаков, Долгов, 1979]. Эксперименты с включениями проводились в среднетемпературной микротермокамере и криокамере оригинальных конструкций [Симонов, 1993].

**Рудообразующие гидротермальные растворы.** Среди уральских объектов наиболее представительная информация по флюидным включениям была получена при исследовании сульфидных руд месторождений Яман-Касы и Валенторское.

Анализ флюидных включений в барите и в кварце из рудных образцов показал сложный характер гидротермальных систем, действовавших при формировании месторождения Яман-Касы. Включения в барите по содержанию солей разбиваются на три группы: <6, 6–11.5 и >11.5 мас. % NaCl-экв. Сходные интервалы солёности флюидов (<5, 5–9 и >11.5 мас. % NaCl-экв.) выделяются при изучении включений в кварце. Средние значения солёности для включений в кварце практически совпадают с данными по флюидным включениям в минералах из «черных курильщиков» задугового бассейна Манус в западной части Тихого океана (5–8 мас. % NaCl-экв.) [Симонов и др., 2002]. В целом, широкие интервалы содержания солей во включениях из

минералов месторождения Яман-Касы хорошо согласуются с данными по гидротермам бассейна Манус: вариации солёности до 7.3 мас. % и более [Vanko et al., 2004]. По температурам гомогенизации флюидных включений можно выделить три типа растворов на месторождении Яман-Касы. Включения в барите показывают температурные интервалы 110–140, 140–250 и реже 260–290 °С. Явно преобладает средне-температурная группа, практически совпадающая с данными по включениям в минералах из сульфидных руд бассейна Манус. Включения в кварце показывают два диапазона температур: 110–135 и 135–210 °С.

Исследования Валенторского месторождения позволили получить представительные данные по флюидным включениям из рудных образцов с подводящими каналами, заполненными кварцем. Характерным является присутствие в одной зоне минерала сингенетичных, но различных по фазовому содержанию включений. Одновременно в тесной ассоциации находятся однофазные включения со светлой жидкостью, двухфазные (светлая жидкость и газовый пузырек), однофазные включения с темным газообразным флюидом и более редкие многофазные включения (светлая жидкость, газовый пузырек и светлые кристаллические фазы). Эта ассоциация близка по своим особенностям к сингенетичным газовым и высококонцентрированным существенно жидким флюидным включениям в минералах из современных гидротермальных построек [Bortnikov et al., 1997; Vanko et al., 2004 и др.]. Таким образом, рассмотренные нами флюидные включения прямо свидетельствуют о фазовой сепарации флюида, протекавшего по подводящим каналам в нижней части рудной залежи на Валенторском месторождении. Исследования флюидных включений позволили выделить одну группу с солёностью растворов 5.6–8.9 мас. % NaCl-экв. и температурами гомогенизации 140–180 °С. Эти характеристики хорошо согласуются с данными по флюидным включениям в минералах из «черных курильщиков» задугового бассейна Манус (Тихий океан) и соответствуют группе включений со средними значениями солёности и температур месторождения Яман-Касы.

Условия рудообразующих гидротермальных систем Рудного Алтая были выяснены при изучении флюидных включений в минералах из сульфидных руд Артемьевского колчеданного месторождения. Исследования барита, заполняющего подводящий канал, выявили несколько типов включений: 1) преобладающие однофазные включения со светлой жидкостью, 2) значительное количество двухфазных включений с круглым газовым пузырьком в светлой жидкости и 3) темные существенно газовые включения вблизи с однофазными светлыми и двухфазными. Таким образом, устанавливается одновременное нахождение разнофазных включений, что похоже на ситуацию, описанную для подводящих каналов Валенторского колчеданного месторождения на Урале. В результате экспериментов в криокамере и термокамере установлены преобладающие значения солёности (0.2–5.8 мас. % NaCl-экв.) и температур (114–160 °С) рудообразующих растворов.

В целом, на сводной диаграмме соотношений температур гомогенизации и концентраций солей, содержащей оригинальные данные по 450 флюидным включениям, видны существенные различия палеозойских гидротермальных рудообразующих систем Урала и Рудного Алтая. Прежде всего, значительная часть данных по уральским объектам попадает в поле флюидных включений в минералах из «черных курильщиков» задугового бассейна Манус (Тихий океан), в отличие от включений из сульфидных руд Рудного Алтая. Эта информация свидетельствует о сходстве древних гидротермальных систем Урала с гидротермальными полями на дне современ-

ных морских бассейнов. В то же время, палеозойские рудообразующие растворы Рудного Алтая имели иные характеристики, чем современные гидротермы. На рассматриваемой диаграмме они, совместно с данными по низкотемпературным включениям Яман-Касинского и Валенторского месторождений, образуют одно поле с широкими вариациями содержания солей от минимальных (существенно меньше солености морской воды) до 13–14 мас. % NaCl-экв. на фоне довольно узкого интервала температур 105–180 °С. Необходимо отметить, что для уральских месторождений (в отличие от рудноалтайских) устанавливаются еще две группы флюидных включений, свидетельствующие о действии высокотемпературных (порядка 300 °С) рудообразующих растворов.

**Постмагматические флюиды.** Физико-химические параметры постмагматических гидротермальных систем определены с помощью анализа флюидных включений, располагающихся рядом с расплавленными включениями в кварце из риолитов и кварц-полевошпатовых порфиров месторождений Яман-Касы (Урал) и Камышенское (Рудный Алтай).

При исследовании флюидных включений в кварце из риолитов месторождения Яман-Касы выяснено, что содержание солей в растворах варьирует от 3 до 15 мас. % NaCl-экв. Термометрические исследования показали, что температуры гомогенизации включений составляют 110–290 °С. Выделяются четыре температурных интервала: 110–130, 130–180, 180–220 и 220–250 °С, а также отдельные замеры температур в интервале 260–290 °С.

Исследования флюидных включений во вкрапленниках кварца из кварц-полевошпатового порфира, ассоциирующего с сульфидными рудами Камышенского колчеданного месторождения, свидетельствуют о существовании двух типов растворов различной солености: 1.4–3.8 и 5–8.8 мас. % NaCl-экв. Выделяется три основных интервала температур гомогенизации флюидных включений: 134–190, 204–250 и 272–288 °С.

По соотношению температур гомогенизации и концентраций солей в растворах включения в кварце из риолитов и кварц-полевошпатовых порфиров месторождений Яман-Касы (Урал) и Камышенское (Рудный Алтай) образуют две взаимно перекрывающиеся группы. Низкотемпературная (111–218 °С) группа характеризуется существенным (до 14 мас. % NaCl-экв.) накоплением солей и согласуется с данными по включениям в кварце порфиров колчеданного месторождения Кызыл-Таштыг (Восточная Тува). В то же время, включения с повышенными температурами (до 288 °С) обладают меньшей соленостью – максимум до 10 мас. % NaCl-экв. Как в случае уральских, так и рудноалтайских месторождений устанавливаются два типа постмагматических флюидов, показывающих рост солености растворов в ходе снижения температур. Таким образом, в отличие от рудообразующих гидротермальных систем, имеющих свои характерные особенности для каждого рассмотренного региона, постмагматические флюиды на колчеданных месторождениях Урала и Рудного Алтая обладали сходными чертами.

Сравнивая полученные физико-химические характеристики рудообразующих и постмагматических флюидных систем, видно, что для месторождений Урала они хорошо согласуются между собой, разбиваясь на две разновидности: относительно низкотемпературные с высокой соленостью и высокотемпературные с низкими содержаниями солей. Для Рудного Алтая устанавливается иная картина – в области низких температур параметры рудообразующих и постмагматических растворов перекрываются. При этом данные по включениям не показывают наличие высокотемпературно-

го этапа при формировании сульфидных руд, в то время как постмагматические флюиды с повышенными температурами присутствуют.

*Работа выполнена при поддержке проекта совместных исследований СО РАН и УрО РАН.*

## Литература

- Ермаков Н. П., Долгов Ю. А.* Термобарогеохимия. М.: Недра, 1979. 271 с.
- Зайков В. В., Шадлун Т. Н., Масленников В. В., Бортников Н. С.* Сульфидная залежь Яман-Касы (Южный Урал) – руины древнего «черного курильщика» на дне Уральского палеоокеана // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. С. 511–529.
- Масленников В. В.* Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В. В.* Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Научное издание. Миасс: Геотур, 1999. 348 с.
- Масленников В. В., Симонов В. А.* Некоторые проблемы развития пригидротермальной фауны в зонах действия палеозойских «черных курильщиков» Рудного Алтая // Металлогения древних и современных океанов–2012. Гидротермальные поля и руды. Миасс: ИМин УрО РАН, 2012. С. 65–68.
- Масленников В. В., Симонов В. А., Жуков И. Г. и др.* Первые находки сульфидных труб палеозойских «черных курильщиков» в Центральной Азии // Геология морей и океанов: Мат. XVII Междунар. научной конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2007. Т. II. С. 47–49.
- Симонов В. А.* Петрогенезис офиолитов (термобарогеохимические исследования). Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1993. 247 с.
- Симонов В. А., Бортников Н. С., Лисицын А. П. и др.* Физико-химические условия минералообразования в современной гидротермальной постройке «Венский лес» (задуговой бассейна Манус, Тихий океан) // Металлогения древних и современных океанов–2002. Формирование и освоение месторождений в офиолитовых зонах. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. С. 61–68.
- Bortnikov N. S., Krylova T. L., Bogdanov Yu. A. et al.* The 14°45' N hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge: Fluid inclusion and sulfur isotope evidence for submarine phase separation // Mineral Deposits: Research and Exploration Where do they meet? Balkema, Rotterdam, 1997. P. 353–356.
- Vanko D. A., Bach W., Roberts S. et al.* 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 // Journal of Geophysical Research. 2004. Vol. 109. B032201. P. 1–14.