

А. М. Юминов, В. А. Симонов, В. В. Зайков

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИШКИНИНСКОМ
КОЛЧЕДАННОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

A. M. Yuminov, V. A. Simonov, V. V. Zaykov

**PHYSICS-CHEMICAL PARAMETERS OF HYDROTHERMAL
PROCESSES IN ISHKININO SULFIDE MASSIV DEPOSIT
(SOUTHERN URAL)**

The thermobarogeochemical study of fluid inclusions of carbonaceous veins of Ishkinino massis sulfide deposit has shown, that the field was formed by three types of hydrothermal solutions. The presence of carbonic acid in inclusions and high salinity of a part from them evidences to influencing of magmatic fluid. Other type of solutions with temperatures of homogenization 130–160 °C and contents of salts close to salinity of seawater is accountable for ore processes. The third type of solutions has minimum values of temperatures and salinity. It represents post-mineralization processes.

Океанскими экспедициями последних лет в Срединно-Атлантическом хребте выявлены современные рудообразующие системы типа черных курильщиков, находящиеся в тесной пространственной ассоциации с ультраосновными породами [1, 2, 3, 13]. Эти открытия заставили обратить самое пристальное внимание на подобные рудные отложения среди серпентинитов палеоокеанических структур. Одним из таких объектов является Ишкининское кобальт-медно-колчеданное месторождение на Южном Урале. В данном сообщении приводятся результаты исследования параметров гидротермальных систем, с которыми связано формирование руд Ишкининского месторождения.

Физико-химические условия гидротермальных процессов, происходивших на Ишкининском месторождении, были определены с помощью термобарогеохимических методов. В качестве объектов исследований выбраны несущие сульфидную минерализацию кальцитовые жилки и гнезда, встреченные как в рудных телах (обр. 598-1), так и во вмещающих серпентинитах (обр. ИО5/16). В карбонатах изучались преимущественно первич-

ные и мнимовторичные флюидные включения, имеющие необходимые для проведения экспериментов размеры (10–15 мкм и более). Исследования были выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 01-05-65329) и гранта INCO COPERNICUS ICA2-СТ-2000-10011.

Анализы флюидных включений были выполнены в Институте геологии ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск). В ходе криометрических и термометрических экспериментов использовались микрокриокамеры и термокамеры оригинальной конструкции [9]. Составы гидротермальных растворов определялись с помощью криометрических исследований флюидных включений [4, 5, 6, 8]. По характерным температурам эвтектик устанавливалась принадлежность раствора к той или иной водно-солевой системе, а по температурам плавления последних кристаллических фаз – соленость. Температуры гомогенизации (минимальная температура минералообразования) флюидных включений были определены в термокамере и фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата. Расчеты по определению давления велись при помощи P–V–T диаграммы CO₂ для высоких температур и давлений на основе полученных данных по температурам захвата включений и плотностям углекислоты в них [11, 12].

Сравнение полученных результатов проводилось с данными по флюидным включениям в рудах гидротермального поля Рейнбоу, где исследовались ангидриты из халькопирит-сфалерит-ангидритовых руд и арагонита из серпентинитов [10].

Строение месторождения

Ишкининское месторождение располагается в 20 км западнее г. Гай и приурочено к южному флангу Главного Уральского разлома [7]. Структура рудного поля представляет собой антиформу из тектонических пластин, сложенных серпентинитами, базальтами и олистостромами (рис. 1). Базальтовая пластина западного фланга рудного поля имеет силурийский возраст и представлена толеитовыми базальтами с прослоями фтанитов. Олистостромы представлены базитовой и кремнистой пачками и датированы средним девонем по фауне конодонт. Базальты верхней пластины, судя по геохимическим данным [9], формировались в островодужной обстановке и представляют собой фрагмент аккреационной призмы.

На месторождении выявлено две рудоносные зоны: Восточная и Западная. Они приурочены к крыльям антиформы и сопровождаются оталькованными и тальк-карбонатными апосерпенти-

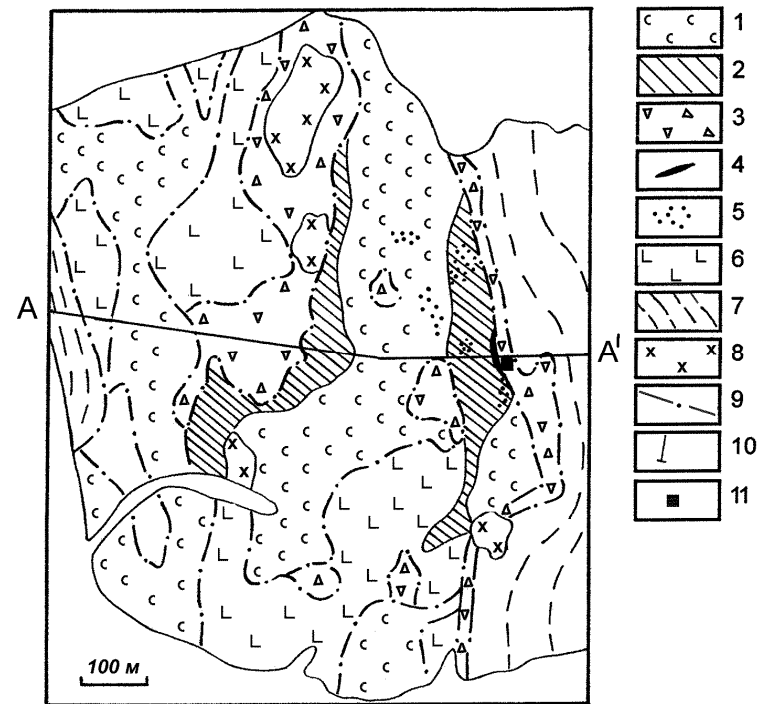


Рис. 1. Схематическая геологическая карта центральной части Ишкенинского месторождения.

1–2 – серпентиниты: 1 – апоперидотитовые и аподунитовые меланжированные, 2 – оталькованные, карбонатизированные и хлоритизированные с сульфидами; 3 – олистострома с преобладанием обломков островодужных базальтов; 4 – сульфидные руды; 5 – участки распространения вторичных минералов меди с реликтами сульфидов; 6 – базальты с прослоями вулканомиктовых отложений и алевролитов; 7 – углеродистые силициты, вулканомиктовые песчаники, алевролиты; 8 – диориты; 9 – разрывные нарушения; 10 – скважины; 11 – место отбора образцов на термобарогеохимические исследования.

нитовыми метасоматитами. Более изученной является Восточная зона, в которой сульфидное оруденение контролируется контактами между блоками серпентинитов и базитовой олистостромовой пачкой. Оруденение было вскрыто скважинами и шурфами с глубокими рассечками. В рудоносной зоне установлено 16 линз массивных руд мощностью 0.4–5.5 м, длиной по простиранию 27–163 м и по падению – 13–60 м.

Кобальтин-халькопирит-пирротиновые руды приурочены к серпентинитовым брекчиям в кровле пластин ультрабазитов и слагают 7 тел мощностью до 15 м протяженностью первые десятки

метров. Кобальтин наиболее характерен для зальбандов рудных тел, где его количество достигает 60 %, а содержание кобальта – 10 %. Преобладающая текстура руд брекчиевая, обломки поперечником до 20 см сложены сульфидами, цемент серпентинитовый. Кроме этого развиты мелкообломочные разности, в которых сочетаются обломки сульфидного и серпентинитового состава. Средние содержания компонентов по рудным телам: Cu 6.4 %; Ni 0.3 %; Co, Zn, As 0.2 %; Pt 1 г/т; Au 1.4 г/т; Ag 5.1 г/т.

Среди образцов, взятых из отвалов шурфов и характеризующих разведанное тело кобальтсодержащих руд Восточной зоны, по результатам минералогических и геохимических исследований выделено три разновидности. Первая, пирит-пирротиновая, представлена массивными рудами однородной, порфировидной и брекчиевой текстур. Обломки сложены пластинчатыми пирротиновыми агрегатами с вкрапленностью и жилками пирита, магнетита, кальцита. Цемент пиритовый с примесью карбонатов и магнетита. Вторая разновидность халькопирит-пирит-пирротиновая, отличается присутствием прожилков и гнезд халькопирита с включениями арсенопирита, пентландита, виоларита. Третья разновидность пирротин-халькопирит-арсенопиритовая представлена полосчатыми рудами. Основу их слагают кристаллические агрегаты арсенопирита с полосами халькопирита и реликтами пирротина. С халькопиритом ассоциируют зерна пентландита, виоларита, Ni-Co-Fe-сульфида.

Карбонаты в пирротиновых рудах

Карбонаты в рудах образуют небольшие линзы шириной 1–2 см, шпирообразные выделения или тонкие ветвящиеся прожилки желтовато-красного и красновато-коричневого цвета. Мощность жил непостоянна, но не превышает первые мм, границы неровные, но четкие (рис. 2). Карбонат в жилах, согласно физико-химическим и оптическим свойствам, а также данным рентгенофазового анализа, представлен кальцитом. Он хорошо диагностируется по основным отражениям ($d/n, A$): 3.04(10); 1.87(9); 1.909(8); 2.27(7); 2.09(7); 2.49(5) и др. Минерал образует мелкозернистые полупрозрачные массы желтоватого или светло-серого цветов. Блеск стеклянный или жирный, на изломе – перламутровый. В большинстве индивидов отмечается присутствие очень тонких сетчатых включений гематита, который и является основной причиной окраски жил. Местами его количество достигает 3–5 % от общего объема жилы. Сульфиды (пирит и пирротин) чаще всего представлены тонкой пылеватой (менее 0.2 мм) вкрапленностью.

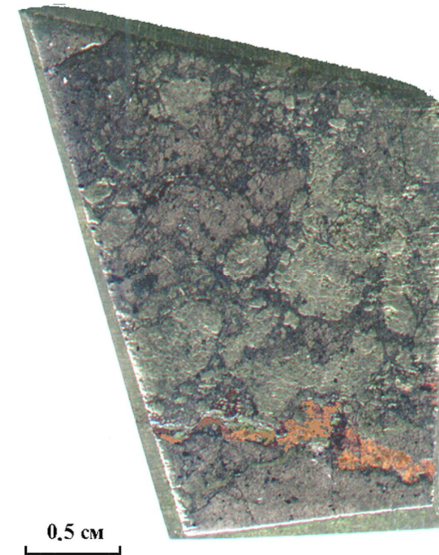


Рис. 2. Прожилок кальцита (светло-серое) в пирит-пирротиновой руде (обр. 598-1).

В образцах, отобранных из карбонатных жил, секущих сульфидные тела и несущих в себе рудную минерализацию (обр. 598-1), выявлено присутствие флюидных включений, размеры которых позволяют произвести серию анализов. При просмотре препаратов под микроскопом, визуально по форме и размерам включений

отчетливо выделялись две группы: первичные и мнимовторичные; вторичные.

К первым относятся включения размерами 10–20 мкм, встречающиеся довольно редко и расположенные хаотично по всему объему зерна. Преобладают включения удлиненной, трубчатой формы с четкими гранями. Включения, в основном, двухфазовые (жидкость + газовый пузырек). Незначительная часть пузырьков, при комнатной температуре подвижна и занимает около 10–15 % от всего объема включения. В единичных случаях в газовом пузырьке зафиксировано наличие жидкой углекислоты (температура плавления около $-56.4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Измеренная температура гомогенизации углекислоты составила $29\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вторая группа представлена более мелкими (до 5–8 мкм) включениями угловатой, ромбовидной формы, в основном приуроченными к плоскостям спайности и залеченным трещинкам. Реже встречаются включения сложной неправильной формы с многочисленными отростками. Включения двухфазовые (светлая жидкость + газовый пузырек). Пузырек, по сравнению с первичными включениями первой группы, имеет значительно меньший объем (5–7 % от объема включения) и, как правило, при комнатной температуре интенсивно движется.

Согласно проведенным криометрическим исследованиям, интервал температур эвтектики растворов, как для первой, так и

для второй группы включений составил: $-22.7 - -20.4$ °С, что наиболее характерно для солевой системы NaCl–H₂O [4].

Температура плавления последнего кристаллика составляет $-2.9 - -0.2$ °С. Это указывает, что концентрация растворов находится в пределах 0.3–4.5 мас. %. В тоже время, зафиксированы два обособленных включения с температурами плавления около $-4.6 - -4.5$ °С, отвечающими солёности флюида до 7.1 мас. %. К сожалению, это единичные замеры, и вопрос о наличии растворов со значительными содержаниями солей остается открытым. В целом, преобладающие концентрации солей в растворах изученных включений существенно меньше солёности морской воды (рис. 3а). Устанавливается широкий диапазон температур гомогенизации флюидных включений: 91–193 °С. Можно выделить три температурных интервала ($90-120$ °С – «низкотемпературные» включения; $120-150$ °С – «среднетемпературные»; $150-200$ °С – «высокотемпературные»), характеризующих, по всей вероятности, определенные этапы температурной эволюции гидротермальных процессов (рис. 3б). Подобный вывод подтверждается при анализе графика зависимости солёности растворов от температур гомогенизации флюидных включений (рис. 3в). На рисунке видно, что наиболее высокотемпературным гидротермам свойственны повышенные концентрации солей (до 7.1 мас. %) в растворах. Для средне- и низкотемпературных флюидов характерно постепенное снижение солёности гидротермальных растворов (1.2–2.4 мас. % и 0.3–4.5 мас. % соответственно). Таким образом, устанавливается прямая зависимость солёности растворов от их температуры.

Давление флюида, рассчитанное по температуре гомогенизации углекислотных включений, находится в пределах 300 бар.

Сравнивая полученные нами результаты с данными по флюидным включениям в минералах из сульфидных руд гидротермального поля Рейнбоу [10], расположенного на $36^{\circ}14'$ с. ш. в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта и характеризующегося, как и Ишкининское месторождение, тесной пространственной ассоциацией с ультраосновными породами, было выяснено, что карбонатные жилы с рудной минерализацией в массивных сульфидах Ишкининского месторождения формировались, в целом, при участии растворов с гораздо меньшей солёностью и более низкими температурами, чем халькопирит-сфалеритовые руды Рейнбоу (рис. 3). В то же время, установлена целая группа наиболее «высокотемпературных» включений, имеющая сходные параметры с данными по Рейнбоу, которая, по всей вероятности, характеризует растворы, ответственные за формирование сульфидных руд Ишкинин-

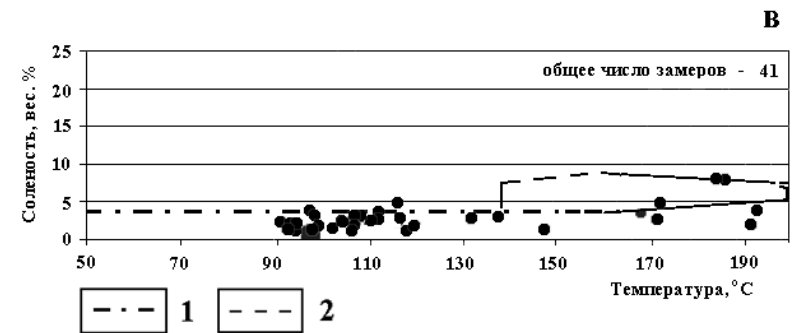
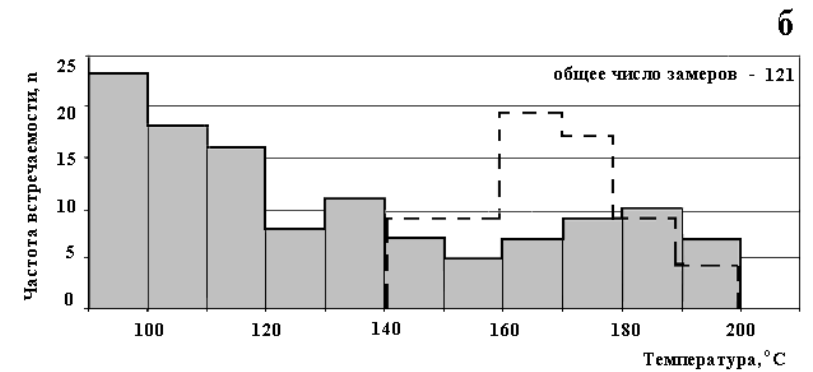
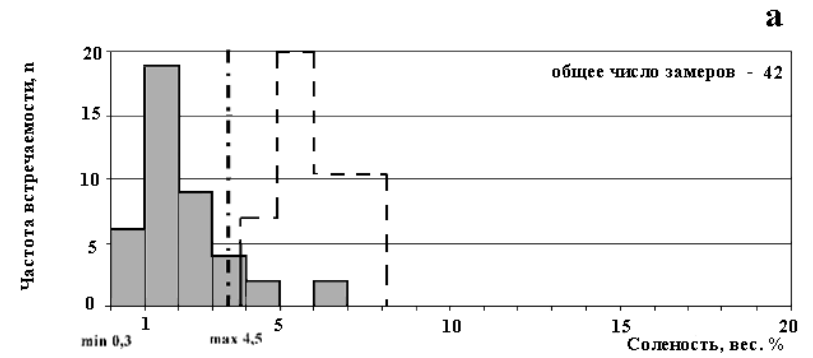


Рис. 3. Результаты термобарогеохимических исследований растворов флюидных включений карбонатных жил в пирит-пирротиновых рудах Ишкининского колчеданного месторождения (обр. 598-1): а – гистограмма концентрации солей; б – гистограмма температуры гомогенизации; в – график зависимости температуры гомогенизации флюидных растворов от их солености.

1 – средняя концентрация солей в морской воде; 2 – результаты исследований флюидных включений в минералах гидротермального поля Рейнбоу [10].

ского месторождения. Низкотемпературные включения с небольшой соленостью из-за небольших размеров, характерной форме и характеру размещения, скорее всего, являются вторичными и были образованы значительно позже процесса рудоотложения (размеры не превышают 10 мкм, включения тонкие и уплощенные, нередко затронутые процессом расшнурования, расположены по залеченным трещинам и плоскостям спайности).

Карбонаты в жилах среди серпентинитов

Карбонатные жилы в подрудных серпентинитах разнообразны по форме, мощности, минеральному составу и другим свойствам. Сульфидные минералы содержатся в жилках, секущих темно-зеленые и черные серпентиниты брекчиевой или массивной текстуры. Жилы, как правило, сложной формы, содержат многочисленные апофизы и ответвления. Мощность их меняется от первых мм до 1.5 см (рис. 4). Границы жил с серпентинитами неровные, но четкие. Карбонат представлен кальцитом. Основные линии на дебаеграммах составляют (d/n, A): 3.02(10); 2.098(9); 1.875 (9); 2.28(8); 1.909(8); 2.48(6) и др. Индивиды имеют различные размеры: тонкозернистые в центральной части, мелкозернистые на периферии. Цвет минерала светло-серый до белого, без дополнительных оттенков. Блеск стеклянный, местами жирный. На периферии жилы нередко отмечаются тонкие сростки кальцита с зеленовато-желтым и красновато-зеленым антигоритом, который содержит отдельные пылеватые зерна рудных минералов магнетита. Сульфидные минералы представлены пиритом и пирротинном. Они образуют как отдельные зерна разнообразной формы, так и их сростки величиной от долей мм до 3 мм, в отдельных случаях размер сростков может достигать 5–8 мм. Пирротин более распространен в жилах и хорошо диагностируется по темной бурой окраске, оптическим и магнитным свойствам. Его основные отражения составляют (d/n, A): 2.05(10); 2.64(9); 1.723(9); 2.96(8); 2.27(6) и др. Пирит имеет основные линии на дебаеграмме (d/n, A): 1.634(10); 1.041(10); 2.71(9); 2.42(9); 1.446 (8); 3.13 (6); 1.502(6) и др. В отдельных образцах зафиксировано наличие халькопирита. Следует отметить, что сульфидная минерализация встречается как в карбонатных жилах, так и в серпентинитах.

В кальците из карбонатной жилы с рудной минерализацией в обр. ИО5/16 было найдено и изучено несколько типов флюидных включений.

К первому типу включений, в которых фиксируются наиболее высокие температуры гомогенизации, относится около 15 % от

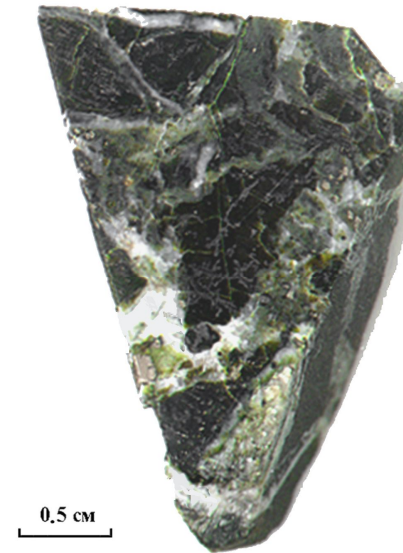


Рис. 4. Кальцитовый прожилок (белое) с сульфидной минерализацией в серпентинитах (обр. ИО 5-16).

общего числа исследованных. Данные включения, как правило, единичные и расположены чаще всего хаотично, лишь иногда группируются по определенной линии. Размер их более 10–20 мкм. Форма угловатая, нередко ромбовидная. В отдельных случаях заметны элементы внутренней огранки. Подавляющее большинство включений двухфазовые: в светлой жидкости располагается

маленький пузырек, иногда подвижный при комнатной температуре. Криометрические исследования включений данного типа выделили интервал -21.6 – -20.9 °С близкий к эвтектике растворов простого состава: $\text{NaCl-H}_2\text{O}$. Температуры плавления последних кристаллических фаз около -16.8 – -15.4 °С, что говорит о достаточно высокой солености раствора: 18.3–19.8 мас. %. (рис. 5а). Температуры гомогенизации включений данного типа находятся в основном в пределах 142–171 °С.

Включения другого типа преобладают и для них характерны низкие содержания солей (не более 4.5 мас. %) в основном очень близкие к солености морской воды (рис. 5а). Они расположены преимущественно по залеченным трещинкам, что свидетельствует об их мнимовторичном или вторичном образовании. Размеры включений составляют в среднем 8–10 мкм, иногда до 15 мкм. Включения, как правило, двухфазовые (жидкость + газовый пузырек), вытянутой формы, плоские, игольчатые. Газовый пузырек довольно крупный, при комнатной температуре практически неподвижный. Трехфазные включения (жидкость + газовый пузырек + жидкость в газовом пузырьке) фиксируются реже. Температура оттаивания замороженной фазы в газовом пузырьке составляет -56.4 – -56.8 °С, что позволяет отнести ее к углекислоте, а незначительные вариации от эталонного значения тройной точки CO_2 (-56.6 °С), позволяет предполагать малое содержание других примесей. Эксперименты показали, что жидкая углекислота в пузырьке гомогени-

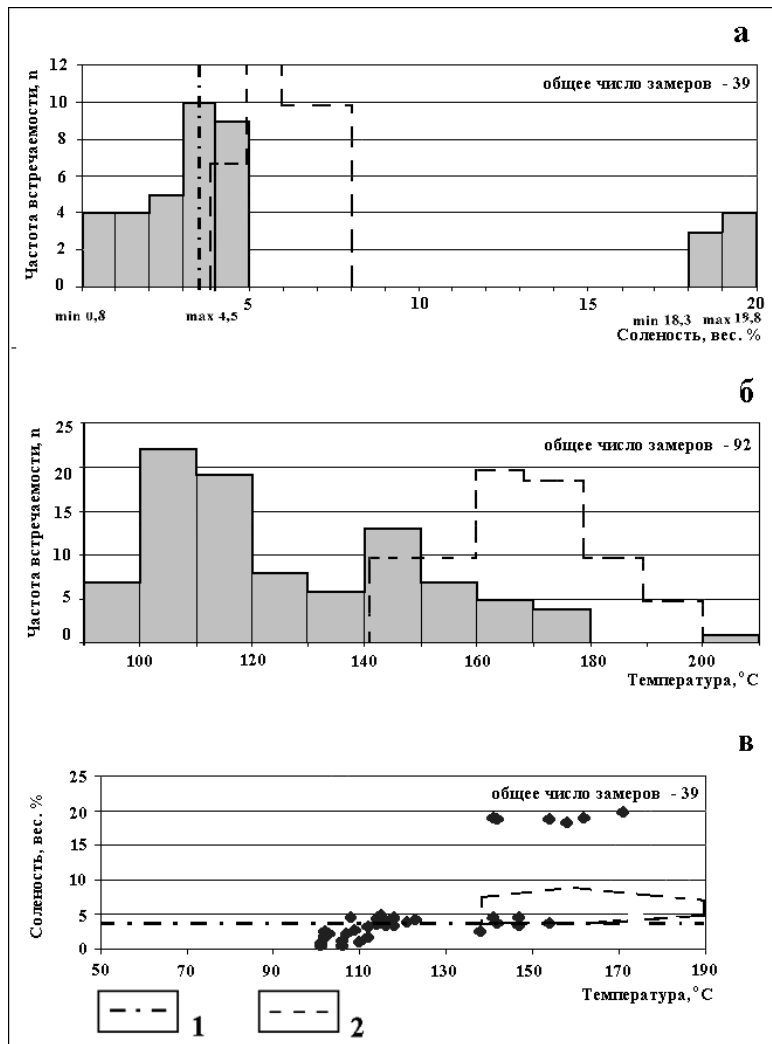


Рис. 5. Результаты термобарогеохимических исследований растворов флюидных включений карбонатных жил во вмещающих серпентинитах Ишкининского колчеданного месторождения (обр. ИО 5-16): а – гистограмма концентрации солей; б – гистограмма температуры гомогенизации; в – график зависимости температуры гомогенизации флюидных растворов от их солености.

1 – средняя концентрация солей в морской воде; 2 – результаты исследований флюидных включений в минералах гидротермального поля Рейнбоу [10].

зируется при температуре 34.0–34.5 °С. Криометрические исследования позволили определить температуры эвтектики водных растворов во включениях (–19.7 – –23.5 °С), что, в основном, соответствует солевой системе NaCl–H₂O. В единичных случаях можно предположить наличие многокомпонентной солевой системы NaCl–KCl–H₂O. Плавление последних кристаллических фаз наблюдалось в интервале температур –3.2 – –0.5 °С, что соответствует концентрации солей 0.8–4.5 мас. %. По температурам гомогенизации среди этих включений с низкой соленостью можно выделить две группы (рис. 5б): «низкотемпературные» (10–130 °С) и «высокотемпературные» (130–160 °С). Наличие различных групп флюидных включений, хорошо отличающихся друг от друга как по концентрации солей в растворах, так и по температурам, отчетливо видно на диаграмме зависимости солености растворов от температур гомогенизации включений (рис. 5в).

Давление флюида, рассчитанное по температуре гомогенизации углекислотных включений, находится в пределах 300–350 бар.

При сравнении с данными по флюидным включениям в минералах из сульфидных руд гидротермального поля Рейнбоу [10], видно, что карбонатные жилы с рудной минерализацией, секущие вмещающие серпентиниты Ишкининского месторождения формировались в целом при участии растворов с меньшей соленостью и более низкими температурами, чем халькопирит-сфалеритовые руды Рейнбоу (рис. 5). В то же время, установлена целая группа наиболее «высокотемпературных» включений, имеющая сходные параметры с данными по Рейнбоу (рис. 5), которая, по всей вероятности, характеризует растворы ответственные за формирование сульфидных руд Ишкининского месторождения. Низкотемпературные включения с небольшой соленостью, являются вторичными и, как в случае с подобными близкими по форме и термодинамическим параметрам флюидными включениями из обр. 598-1, характеризуют пострудную эволюцию гидротермальных растворов. Необходимо отметить, что рассмотренные карбонатные жилы с рудной минерализацией, располагающиеся как собственно в рудах, так и во вмещающих серпентинитах формировались при участии близких по своим характеристикам гидротермальных растворов с низкой соленостью, ответственных, скорее всего, при температурах свыше 140 °С собственно за перенос и осаждение рудных компонентов, а при более низких температурных параметрах характеризующих пострудные процессы. Особый интерес представляет наличие достаточно высококонцентрированных растворов, более характерных для магмогенных флюидов.

Основные выводы

Проведенные исследования флюидных включений в минералах карбонатных жил показали, что при формировании Ишкининского месторождения активное участие принимали гидротермальные растворы, главным образом с относительно невысокими концентрациями солей – меньшими или близкими солености морской воды. В составе растворов отмечается явное преобладание хлорида натрия. Вместе с тем, выявленные в результате наблюдений в отдельных включениях вариации температур эвтектики, позволяют предположить наличие незначительных примесей KCl. Таким образом, изучение флюидных включений позволяет высказать предположение о большой доле участия морской воды в гидротермальном процессе. В тоже время, в отдельных флюидных включениях в карбонатных жилах в серпентинитах были зафиксированы довольно низкие температуры плавления последних кристаллических фаз (-15.0 – -16.8 °C), свидетельствующие о достаточно высокой концентрации солей в растворах (18–19 мас. %), что, в основном, характерно для магматических процессов.

Очевидно, процесс формирования жил был многоэтапным и происходил за длительный период времени. Об этом свидетельствует дискретное распределение температур фазовых превращений. Обращает на себя внимание существование практически не отличающихся по основным параметрам двух групп флюидов в карбонатных жилах руд и во вмещающих серпентинитах. Близкие значения интервалов температур гомогенизации и концентрации растворов предполагают, что жилы многократно испытывали пере кристаллизацию, вызванную внедрением последующих более холодных гидротерм.

В целом, полученные экспериментальные данные говорят о том, что в процессах формирования Ишкининского месторождения принимали участие как минимум три типа гидротермальных растворов. Наличие углекислоты во включениях, а также высокая соленость части из них, может свидетельствовать, в определенных случаях, о влиянии магматогенного флюида. Другой тип относительно «высокотемпературных» растворов с содержаниями солей, близкими к солености морской воды, имеет определенные черты сходства с гидротермами рудного поля Рейнбоу и является, скорее всего, ответственным собственно за рудообразующие процессы. Третий тип растворов обладает минимальными значениями как температур, так и содержаниями солей, и представляет собой, по всей вероятности, пострудные процессы.

Литература

1. Батуев Б. Н., Ашадзе А. М., Лазарева Л. И. Методика и результаты оценки гидротермальных сульфидных руд осевых зон Восточно-Тихоокеанского поднятия и Срединно-Атлантического хребта // Металлогения древних и современных океанов-97. Процессы рудообразования. Миасс: ИМин УрО РАН, 1997. С. 46–48.
2. Богданов Ю. А., Сагалевиц А. М., Черняев Е. С., Ашадзе А. М., Гурвич Е. Г., Лукашин В. Н., Иванов Г. В., Пересыпкин В. И. Гидротермальное поле 14°45' с.ш. Срединно-Атлантического хребта // Докл. РАН, 1995. Т. 343. № 3. С. 353–357.
3. Богданов Ю. А., Сагалевиц А. М., Гурвич Е. Г., Викентьев И. В., Леин А. Ю., Пименов Н. В., Пересыпкин В. И., Гордеев В. Ю., Войтов Д. В. Подводные геологические исследования гидротермального поля Рейнбоу (Срединно-Атлантический хребет) // Докл. АН. 1999. Т. 365. № 5. С. 657–662.
4. Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.
5. Ермаков Н. П. Геохимические системы включений в минералах. М.: Недра, 1972. 375 с.
6. Ермаков Н. П., Долгов Ю. А. Термобарогеохимия. М.: Недра, 1979. 271 с.
7. Зайков В. В. Медноколчеданные месторождения среди офиолитов Южного Урала – аналоги сульфидных залежей в океанических рифтах // Вопросы петрологии, минералогии, геохимии и геологии офиолитов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. С. 180–194.
8. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир. 1987. Т. 1. 557 с.
9. Симонов В. А. Петрогенезис офиолитов: Термобарогеохимические исследования / Под ред. Ю. А. Долгова. Новосибирск: РАН, Сиб. отд. Ин-т геологии, геофизики и минералогии, 1993. 247 с.
10. Симонов В. А., Глазырин Ю. Е., Ковязин С. В. Параметры магматических и гидротермальных систем в западной части трансформенного разлома Вима (Центральная Атлантика) // Металлогения древних и современных океанов–2001. История месторождений и эволюция рудообразования. Миасс: Геотур, 2001. С. 77–86.
11. Смит Ф. Г. Физическая геохимия. М.: Недра, 1968. 475 с.
12. Справочник химика. Т.1. М.: Госхимиздат, 1963. 356 с.
13. Batuev B. N., Krotov A. G., Markov V. E., Cherkashev G. A., Krasnov S. G., Lisitsin Ye. D. Massive sulphide deposits discovered and sampled at 14°45'N, Mid-Atlantic Ridge // BRIDGE Newsletter, 1994. V. 6. P. 6–10.