

6. Оперяющие диагональные взбросо-сдвиговые трещинные системы кварцевых жил, сопровождающиеся лиственитами-березитами, эйситами и мусковит-кварцевыми метасоматитами.

#### **В. Для редкометальных тел**

7. Развитие гранитных пегматитов и грейзенов с прожилково-вкрапленным и жильным редкометальным оруденением.
8. Для грейзеновой формации отмечается вертикальная зональность — прожилково-вкрапленная минерализация фиксируется под жилой.
9. Наличие структурных и литологических экранов.

Сочетание благоприятных критериев — основа для формирования редкометальных тел разных масштабов.

Коренные выходы и обломки рудных тел, кварцевых жил, кристаллов горного хрусталя, шлиховое золото и шеелит (вольфрамит) являются прямыми поисковыми признаками золотого и сопряженного с ним кварцево-жильного, хрусталеносного оруденения, используемыми при прогнозах. Кроме применения прямых поисковых признаков для выявления и оконтуривания скрытого оруденения широко используются геофизические, геохимические и минералогические признаки.

#### *Литература:*

1. **Знаменский С.Е.** Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2008. 348 с.
2. **Огородников В.Н.** Закономерности размещения и условия сопряженного образования кварцевожильных, хрусталеносных и золоторудных месторождений Урала: Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Екатеринбург, 1993. 470 с.
3. **Рундквист Д.В.** О структурах и закономерностях размещения кварц-редкометальных жильных месторождений восточного склона Урала // Геология рудных месторождений. 1964. № 2. С. 21–37.
4. **Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. и др.** Месторождения золота Урала. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2001. 622 с.

## **ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО И ЗОЛОТО-КВАРЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ**

*С.В. Мичурин*

**Институт геологии УНЦ РАН, Уфа, s\_michurin@mail.ru**

Месторождения и рудопроявления золота на территории республики Башкортостан в большинстве случаев представлены золото-кварцевыми, золото-сульфидными и золото-сульфидно-кварцевыми рудами. Несмотря на длительную историю их изучения, до сих пор не разработаны отличительные критерии золотоносных кварцевых жил и сульфидов. При этом практика предыдущих исследований показывает, что отдельные геохимические аномалии обладают невысокой поисковой эффективностью и одним из перспективных направлений в совершенствовании методики поисков рудных месторождений является комплексирование различных методов, дополняющих и усиливающих друг друга в процессе решения прогнозно-поисковых задач [6].

Ранее на рудопроявлениях золота Авзянского рудного района выявлены некоторые общие характеристики, которые указывают на эндогенный источник рудного вещества и его

концентрацию в зонах интенсивной флюидной проработки [3, 4]. В связи с этим при поисках перспективных участков на золотое оруденение в рифейских отложениях Башкирского антиклинория предлагается использовать комплекс изотопно-геохимических и термобарогеохимических методов исследования, направленных в первую очередь на выяснение источников вещества и определение интенсивности циркуляции палеогидротермальных растворов [4]. Методика основана на детальном исследовании минералогических, изотопных и геохимических особенностей сульфидов (термоэлектрические характеристики, распределение элементов-примесей, изотопный состав серы) и кварца (гомогенизация, декрепитация, флюидоносность, состав газов флюидных включений). Оригинальность методики заключается в комплексном использовании минералогической, геохимической, изотопной и термобарогеохимической информации на перспективных участках.

Нами выделен ряд минералогических и изотопно-геохимических особенностей золото-сульфидного и золото-кварцевого оруденения в докембрийских отложениях западного склона Южного Урала и ниже приводится сравнительный анализ характеристик сульфидов и кварца в рудных и безрудных зонах.

*Минералогические особенности.* Наибольшее развитие среди сульфидов в рифейских осадочных отложениях имеет пирит кубического габитуса. Редко он отмечается в виде округлых включений и стяжений размером до нескольких миллиметров. Пирротин, халькопирит, галенит и сфалерит очень редко встречаются в осадочных породах, в которых они образуют очень мелкие (от тысячных до десятых долей мм) неправильной формы включения в метакристаллах пирита или непосредственно в матрице породы.

На золоторудных объектах среди сульфидов наиболее широко развиты пирит, пирротин и халькопирит, в меньшей степени — галенит и сфалерит. Отличительной минералогической особенностью рудопроявлений является относительно широкое развитие сульфоарсенидов — арсенопирита, реже герсдорфита и др. При этом на рудопроявлениях (Улюк-Бар) отмечается, что с глубиной (>400 м) количество арсенопирита увеличивается, в отдельных случаях достигая ~10 вес. %. Кроме того, к минералогическим особенностям можно отнести и появление анкерита в составе карбонат-кварцевых жил на рудопроявлениях золота, а также нахождение в породах самостоятельных минеральных фаз тория — торита, торианита и ураноторита [5]. Важно отметить, что ториевая минерализация встречается в ассоциации с сульфоарсенидами.

*Геохимические особенности.* На золоторудных объектах устанавливаются прямые корреляционные связи Au с целым рядом элементов As, Co, Cu, Pb, Zn, Ni и др., при этом на рудопроявлении Улюк-Бар наиболее высокие коэффициенты корреляции золота отмечаются с мышьяком и кобальтом. Концентрации As в пределах Исмакаевской рудной зоны имеют зональное распределение по латерали и вертикали: максимальные содержания мышьяка в породах (до 1,5%) наблюдаются в центральной части зоны и на глубине (>400 м). Здесь же следует отметить, что по результатам многочисленных (более 1700) определений As в осадочных отложениях рифея Башкирского антиклинория не обнаружен [1].

По распределению элементов-примесей пириты рудных зон отличаются от пиритов из осадочных отложений появлением заметных содержаний мышьяка и кобальт-никелевым соотношением, которое относится к хорошо выраженным типоморфным характеристикам [2, 7]. Для первых значения этого соотношения располагаются в широком интервале от ~0,1 до >>10 (отношение Co/Ni на рудопроявлении Улюк-Бар в среднем составляет 3 и 10,1 в пирите —1 и 2 соответственно). В то же время для вкрапленных пиритов из нижнерифейских осадочных пород эта величина, как правило, не превышает 1,5 (в среднем 0,8). Кроме того, по химическому составу индивиды пирита рудных зон имеют некоторый избыток серы против стехиометрического состава, а в пиритах из осадочных пород, напротив, повсеместно устанавливается ее одинаковый небольшой дефицит [4].

*Термоэлектрические особенности.* Изучение термоэлектрических особенностей сульфидов широко используется при исследовании условий минералообразования на золоторудных

месторождениях [2]. Типоморфные термоэлектрические характеристики пирита и арсенопирита позволяют отличать разные генерации минералов, выявлять геохимическую зональность на месторождениях и оценивать продуктивность их отдельных участков [2, 7].

В осадочных нижнерифейских отложениях Башкирского антиклинория вкрапленный пирит характеризуется в целом одинаковыми отрицательными (электронный тип проводимости, n-тип) значениями термо-ЭДС (в среднем  $-130...-250$  мкВ/°С). Для сульфидов золоторудных зон характерны иные термоэлектрические свойства и пириты имеют преимущественно положительные значения термо-ЭДС (дырочный тип проводимости, p-тип). Причем пириты обладают зональным распределением термоэлектрических характеристик, что связано с примесью в них As.

*Изотопные особенности.* Вкрапленная пиритовая минерализация из осадочных отложений значительно обогащена тяжелым  $^{34}\text{S}$  изотопом. Подавляющее большинство измеренных значений  $\delta^{34}\text{S}$  пиритов попадают в интервал от 11,6 до 28,8‰, при средней величине  $\delta^{34}\text{S} \approx 18,0\%$  (n = 33). Происхождение пирита в осадочных породах связано с процессом сульфатредукции и источником серы из сульфатов эвапоритов, на былое присутствие которых в отложениях раннего рифея указывает целый ряд литологических и геохимических данных [4].

Сульфидам из рудопроявлений золота присущи свои изотопные характеристики, отличающие их от пиритов из осадочных отложений. Они, как правило, характеризуются однородным изотопным составом серы с незначительным отличием от величины  $\delta^{34}\text{S}$  метеоритного стандарта. На рудопроявлениях Исмакаевской рудной зоны значения  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов располагаются в интервале от  $-4,3$  до  $5,4\%$  ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{ср}} = -0,7\%$ ; n = 40), на месторождении Горный прииск от  $-4,8$  до  $0,9\%$  ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{ср}} = -2,0\%$ ; n = 12). Причем с глубиной ( $\sim 450-700$  м) в пределах Исмакаевской зоны интервал значений  $\delta^{34}\text{S}$  сужается до  $-2,7...3,6\%$ . Эти характеристики свидетельствуют, что при образовании сульфидов рудных зон сера имела магматогенный источник. Вместе с тем, на рудопроявлении Багряшка выявлено отчетливое бимодальное распределение изотопных величин  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов. Одна часть изотопных данных группируется в интервале от  $-6,6$  до  $2,7\%$  ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{ср}} = -0,5\%$ ; n = 12), а другая — от  $10,9$  до  $27,4\%$  ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{ср}} = 16,1\%$ ; n = 24). Эти результаты показывают, что формирование сульфидной минерализации на отдельных рудопроявлениях происходило в два этапа с участием серы из двух источников, один из которых имел «мантийную» природу, а второй — коровую. Отсутствие непрерывного ряда изотопных значений  $\delta^{34}\text{S}$  и их двумодальное распределение указывает, что этапы образования сульфидной минерализации не были связаны между собой и, по-видимому, были разорваны во времени.

*Термобарогеохимические особенности.* Кварц месторождений и рудопроявлений золота, залегающих в рифейских отложениях, характеризуется сходными термобарогеохимическими особенностями: высокой флюидоносностью ( $\geq 200$  мкл/г) и незначительными (первые проценты) концентрациями углекислоты и восстановленных компонентов в составе флюидных включений. Отношение моль  $\text{CO}_2/\text{кг H}_2\text{O}$  в составе последних составляет 1–2,4. Флюидоносность кварца прямо коррелирует с содержанием золота в породах [3]. Начальные температуры декрепитации рудного кварца обычно находятся в интервале  $150-200^\circ\text{C}$ . Безрудный кварц характеризуется более высокими начальными температурами декрепитации в интервале  $230-360^\circ\text{C}$ , более низкой флюидоносностью, обычно не превышающей 150 мкл/г, и высоким отношением ( $>5$ ) моль  $\text{CO}_2/\text{кг H}_2\text{O}$  в составе газов флюидных включений [4].

Таким образом, предлагаемая методика выявления перспективных участков золото-сульфидного и золото-кварцевого оруденения в рифейских отложениях Башкирского антиклинория заключается в проведении изучения с использованием следующих методов: 1) декрепитация кварца и сульфидов; 2) определение термо-ЭДС сульфидов; 3) определение химического состава и элементов-примесей в сульфидах; 4) анализ флюидоносности кварца и определение состава газов флюидных включений; 5) определение изотопного состава серы сульфидов. Следует отметить, что декрепитация, анализ флюидоносности и определение термо-ЭДС являются малозатратными и экспрессными методами изучения, с помощью кото-

рых можно оценивать перспективность сульфидов и кварца в отношении содержания золота уже на начальных этапах исследования.

*Работа выполнена по программе РФФИ «Поволжье», грант № 08-05-97000.*

#### *Литература:*

1. **Анфимов Л.В.** Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1997. 290 с.
2. **Коробейников А.Ф., Нарсеев В.А., Пшеничкин А.Я. и др.** Пириты золоторудных месторождений (свойства, зональность и практическое применение). М.: ЦНИГРИ, 1993. 215 с.
3. **Мичурин С.В., Высоцкий И.В.** Термобарогеохимические предпосылки благороднометалльного оруденения в докембрийских отложениях Башкирского мегантиклинория // Геологический сборник № 8 / ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. С. 187–196.
4. **Мичурин С.В., Ковалев С.Г., Горожанин В.М.** Генезис сульфидов и сульфатов в нижнерифейских отложениях Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. 192 с.
5. **Мичурин С.В., Ковалев С.Г., Кринов Д.И.** Ториевая минерализация золоторудных объектов Башкирского антиклинория (Южный Урал) // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Мат-лы Всеросс. конф., посвященной 100-летию Н.В. Петровской. М.: ИГЕМ РАН, 2010. Т. 2. С. 50–53.
6. **Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.** Комплексная петрографо-минералогическая методика поисков золоторудных месторождений. М.: Бородино-Е, 2004. 132 с.
7. **Юргенсон Г.А.** Типоморфизм и рудные формации. Новосибирск: Наука, 2003. 369 с.

## **КАРБОНАТНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ИСМАКАЕВСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ БАШКИРСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ**

*С.В. Мичурин<sup>1</sup>, В.А. Попов<sup>2</sup>, А.А. Шарипова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, [s\\_michurin@mail.ru](mailto:s_michurin@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, [vladimirp@imsp.da.ru](mailto:vladimirp@imsp.da.ru)

Карбонатные минералы часто встречаются на золоторудных месторождениях различных типов. В ряде случаев они становятся одними из главных жильных минералов, связанных по времени формирования с определенными этапами рудного процесса. Их свойства, химический состав и наличие определенных элементов-примесей можно использовать для реконструкции физико-химических условий образования месторождений. Вместе с тем, несмотря на относительно длительную историю изучения рудопроявлений золота, локализованных в докембрийских отложениях западного склона Южного Урала, сведения о карбонатных минералах, встречающихся в пределах этих объектов, в литературе практически отсутствуют.

Нами проведено изучение карбонатных минералов из жил и прожилков карбонат-кварцевого состава на золоторудных проявлениях Исмакаевской рудной зоны, расположенной приблизительно в 2 км западнее д. Исмакаево. Она включает рудопроявления Улюк-Бар, Рамеева Жила и Кургашлинское, которые локализованы в нижнерифейских отложениях большеинзерской свиты Башкирского антиклинория. Зона приурочена к Караташскому региональному разлому субмеридионального простирания. Рудопроявления относятся к золото-кварцевому и золото-сульфидно-кварцевому типам [5].

Минералогические исследования проводились по образцам из керна скважин №№ 18, 21 и 26, которые были пробурены в 2003–2006 гг. ГУП «Башгеолцентр» РБ в пре-