

***Е. О. Грознова<sup>1,2</sup>, О. Ю. Плотинская<sup>1</sup>, С. С. Абрамов<sup>1</sup>, И. В. Викентьев<sup>1</sup>***  
*<sup>1</sup> – Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии  
и геохимии РАН, г. Москва*  
*<sup>2</sup> – Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка  
grozelena@yandex.ru*

### **Применение флюидных включений для оценки условий формирования рудной минерализации разнотипных месторождений Южного Урала**

Изучение условий формирования месторождений различного типа на Урале (эпитермальных, порфировых, колчеданных и др.) ведется давно [Lehmann et al., 1999; Sazonov et al., 2001; Vikentyev et al., 2004; Грабежев и др., 2007; Plotinskaya et al., 2014], но полученные результаты весьма ограничены. Нами изучены рудообра-

зующие флюидные системы, сформировавшие эпитермальное Березняковское, медно-порфировое Калиновское, молибден-медно-порфировое Михеевское, молибден-порфировое Талицкое, медно-цинково-колчеданное Узельгинское и золоторудное Светлинское месторождения и стратиформное Cu-Ag-Pb-Zn рудопроявление Биксизак на Южном Урале.

Месторождения, соответствующие разным уровням глубинности порфирово-эпитермальной системы, находятся в Биргильдинско-Томинском рудном узле. В наименее эродированной части узла, в андезит-дацитовых туфах ( $D_3-C_1$ ) локализовано эпитермальное Березняковское Au-Ag месторождение. К подстилающим туфы известнякам и мраморам ( $O_2-S$ ) приурочено стратиформное Cu-Ag-Pb-Zn рудопроявление Биксизак. Нижележащие базальты ( $O_{1-2}$ ) вмещают медно-порфировое Калиновское месторождение. Все они генетически связаны с интрузиями андезитовых и диоритовых порфиритов ( $D_3-C_1$ ).

Молибден-медно-порфировое Михеевское месторождение приурочено к поясу даек кварцевых диоритов и их порфировых разностей, который протягивается субмеридионально между двумя крупными штоками диоритов ( $C_{1-2}$ ), внедрившихся в вулканогенно-осадочные породы ( $D_3-C$ ) [Шаргородский и др., 2005]. Молибден-порфировое Талицкое месторождение локализовано в пределах одноименного массива ( $C_{1-2}$ ), сложенного породами монцитонитовидного ряда среди серпентинизированных ультрабазитов и вулканитов риолито-базальтовой формации  $D_{1-2}$  [Азовскова, 2008].

Узельгинское медно-цинково-колчеданное месторождение расположено в Магнитогорской мегазоне в пределах крупной палеовулканической постройки, сложенной базальт-риолитовой серией ( $D_2ef-gv_1kr$ ) [Викентьев, 2004]. Рудные тела, локализованные на двух гипсометрических уровнях, представлены мощными пологолежащими линзами и сложены Cu-Zn рудами.

Светлинское месторождение золота представляет собой прожилково-вкрапленное оруденение, приуроченное к переслаивающимся интенсивно метаморфизованным вулканогенно-терригенным породам от ордовика до девона. Рудные тела представлены зонами серицит-биотит-кварцевых метасоматитов с убогой пиритовой минерализацией, содержащей золото.

Были изучены различные типы флюидных включений в кварце, карбонате, барите и сфалерите из рудных ассоциаций перечисленных месторождений. Методами микротермометрии (термокриокамера Linkam-THMSG-600, ИГЕМ РАН, г. Москва) определены температуры гомогенизации, состав и соленость флюидов, рассчитано давление. Методом Рамановской спектроскопии (спектрометры Ramalog U-1000, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск и LabRAM-HR ГИ САН, Б. Быстрица, Словакия) проанализирован состав газовой и твердой фаз. Для анализа геохимического состава индивидуальных флюидных включений использован метод LA-ICP-MS (Университет им. Пуанкаре, г. Нанси, Франция). Для оценки температур минералообразования и давления были использованы также различные минеральные геотермометры. Результаты исследований приведены в таблице.

На эпитермальных и порфировых месторождениях прослежены закономерности эволюции температур, состава и концентрации флюидов при переходе от порфирового к эпитермальному этапу. В формировании раннего порфирового этапа месторождений Урала участвовали гетерогенные высокотемпературные (до 550 °С) и высокосоленные (до 35 мас. %) флюиды, содержащие двухвалентные катионы (Mg, Ca), высокоплотную  $CO_2$  и примеси других газов ( $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $CH_4$ ). Давление на этом

Т а б л и ц а

**Р-Т-параметры и состав рудообразующих флюидов на месторождениях Урала**

Т <sub>гом</sub> , °С	Р, бар	С, мас. % NaCl- экв.	Состав		
			раствора	газовой фазы	твёрдой фазы
<b>Березняковское</b> (энаргит, блеклая руда, самородное Au, теллуриды Au, Ag, Pb, галенит, сфалерит)					
150–250	80–160	4–15	Na–Cl	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	не обн.
<b>Биксизак</b> (пирит, сфалерит, галенит, блеклая руда)					
150–270	~300	1–10	Na–Cl	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	не обн.
<b>Калиновское</b> , порфиновый этап (халькопирит, борнит, молибденит)					
250–540	450–1100	15–30	Ca(Mg,Na)–Cl Mg,Na–Cl	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	Кальцит, гематит, магнетит
<b>Калиновское</b> , субэпитермальное этап (пирит, халькопирит, сульфосоли Bi, самородное Au)					
150–250	190–350	3–12	Na–Cl	CO <sub>2</sub>	не обн.
<b>Михеевское</b> , пропилиты (пирит, халькопирит)					
150–350	100–350	10–35	Ca(Mg,Na)–Cl Mg,Na–Cl Na–Cl	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	Кальцит, галит
<b>Талицкое</b> , кварц-молибденит-пиритовая стадия (молибденит, пирит, халькопирит)					
320–510	900–1700	25–35	Mg,Na–Cl Na–Cl	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub>	Нахколит, галит
<b>Талицкое</b> , полиметаллическая стадия (пирит, халькопирит, блеклая руда, сфалерит, галенит)					
200–450	400–1300	5–15	Na–Cl	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub>	Силикат
<b>Светлинское</b>					
200–300 240–370*	550–1400 1300– 3000*	4–16	Mg,Na–Cl Na–Cl	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Кальцит
<b>Узельгинское</b> , нижний ярус оруденения, рудные тела с повышенными концентрациями золота (в среднем, 2–4 г/т) и серебра (до 230–550 г/т)					
110–260 130–370**	– 600– 1000**	0.5 – 14 1–10.7**	Na–Cl Na–Cl, K–Cl, KHCO <sub>3</sub> **	вод. пар	не обн.

Примечание. \* – по данным [Bortnikov et al., 1999]; \*\* – массивные медно-цинково-колчеданные руды.

этапе было высоким (400–1700 бар). На этом этапе отлагались халькопирит, борнит, молибденит, в меньшей степени пирит. В дальнейшем происходило взаимодействие рудообразующих флюидов с вмещающими породами, разбавление их метеорными водами и изменение характера флюидов. Минерализацию более позднего и менее глубинного эпитермального этапа формировали в основном гомогенные, относительно низкотемпературные (до 270 °С) слабосоленые (1–10 мас. % NaCl-экв.) Na-хлоридные растворы при давлении до 300 бар. Газовая фаза представлена низкоплотным водным флюидом с переменным количеством CO<sub>2</sub>. На Калиновском и Талицком ме-

сторождениях в растворе включений обнаружены повышенные концентрации Na, Mg, а также Cu и Zn. На этом этапе образовалась золото-полиметаллическая минерализация (блеклая руда, галенит, сфалерит, самородное золото, теллуриды Au, Ag, Pb, Bi, сульфосоли Ag, Cu, Pb, Bi и др.).

Некоторые различия в P–T-параметрах рудообразующих флюидов на порфировых месторождениях Южного и Среднего Урала могут быть обусловлены их генетической связью с интрузивными породами различного состава: на Южном Урале это диоритоиды известково-щелочной серии, а на Среднем – гранитоиды субщелочной серии.

На Узельгинском месторождении исследованы двухфазные флюидные включения в кварце, карбонате и барите из рудных тел из нижнего яруса оруденения с повышенными концентрациями золота и серебра. Показано, что в формировании минерализации участвовали гомогенные низкотемпературные (до 280 °С) NaCl растворы с концентрацией до 14 мас. % NaCl-экв. Ранее были установлены более высокотемпературные флюиды различного состава [Карпухина и др., 2013].

На Светлинском месторождении минеральные ассоциации второго и третьего рудных этапов сформированы гетерогенными среднетемпературными (200–300 °С) флюидами Na-Mg хлоридного состава с соленостью 4–16 мас. % NaCl-экв. при участии плотной углекислоты с примесью метана. Ранее были установлены флюиды с более высокими параметрами температур (до 370 °С) и давлений (1300–3000 бар) [Bortnikov et al., 1999]. Такой разброс температур и давлений на можно объяснить тем, что месторождение является полигенным и полихронным, т.е. руды формировались в несколько этапов, и рудообразующий флюид поступал из нескольких источников. Руды прожилково-вкрапленные, что объясняет отнесение его к новому для Урала промышленно-генетическому типу [Сазонов и др., 2011].

Информативность флюидных включений при изучении гидротермальных рудных месторождений очень велика. Чтобы охарактеризовать обстановки рудоотложения необходимо решить такие задачи, как выяснение механизмов образования включений, динамики формирования фаз, отношения включений к той или иной части процесса, а также определения состава минералов, жидкостей и газов внутри вакуолей [Мельников и др., 2008]. Эти проблемы могут успешно решаться не только с помощью различных методов исследования флюидных включений, но и совместно с минералогическим и петрологическим изучением минералов, пород и руд, структурными и геологическими оценками изучаемых объектов.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ № 13-05-00622а и 14-05-00725а, РНФ № 14-17-00693 и Программы Президиума РАН № 27.*

## Литература

*Азовскова О. Б., Грабежьев А. И.* Талицкое медно-молибден-порфировое месторождение – первый объект субщелочной порфировой системы на Среднем Урале // Доклады Академии наук. 2008. Т. 418. № 2. С. 237–240.

*Викентьев И. В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 340 с.

*Грабежьев А. И., Боровиков А. А., Вигорова В. Г.* Флюидные включения в прожилковом кварце и карбонате медно-порфировых месторождений Урала // Ежегодник–2007. Екатеринбург: Изд-во ИГГ УрО РАН, 2007. С. 308–312.

*Карпухина В. С., Наумов В. Б., Викентьев И. В.* Генезис колчеданных месторождений Верхнеуральского рудного района (Южный Урал, Россия): свидетельства магматического вклада металлов и флюида // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 2. С. 145–165.

*Мельников Ф. П., Прокофьев В. Ю., Шатагин Н. Н.* Термобарогеохимия. М.: Академический Проект, 2008. 222 с.

*Сазонов В. Н., Коротеев В. А., Огородников В. Н. и др.* Золото в «черных сланцах» Урала // Литосфера. 2011. № 4. С. 70–92.

*Шаргородский Б. М., Новиков И. М., Аксенов С. А.* Михеевское месторождение медно-порфириновых руд на Южном Урале // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 57–61.

*Bortnikov N. S., Stolyarov M. I., Murzin V. V. et al.* The Svetlinsk gold-telluride deposit, Urals, Russia: Mineral paragenesis, fluid inclusion and stable isotope studies // Mineral deposits: Processes to Processing. Stanley C.A. et al. (eds). Rotterdam: Balkema, 1999. P. 21–24.

*Vikentyev I. V., Yudovskaya M. A., Mokhov A. V. et al.* Gold and PGE in sulfide massive sulphide ore of the Uzelginsk deposit, Southern Urals, Russia // Canadian Mineralogist. 2004. Vol. 42. № 5. P. 651–665.

*Lehmann B., Heinhorst J., Hein U. et al.* The Bereznjakovskoe gold trend, southern Urals, Russia // Mineralium Deposita. 1999. Vol. 34. P. 241–249.

*Plotinskaya O. Y., Grabezhev A. I., Groznova E. O. et al.* The Late Paleozoic porphyry-epithermal spectrum of the Birgilda-Tomino ore cluster in the South Urals, Russia // Journal of Asian Earth Sciences. 2014. Vol. 79. Part B. P. 910–931.

*Sazonov V. N., van Herk A. H., Boorder H.* Spatial and temporal distribution of gold deposits in the Urals // Economic Geology. 2001. Vol. 96. P. 685–703.