

## Микровключения в пиритах золоторудных месторождений Восточного Забайкалья

© *А. С. Вах*<sup>1,2</sup>, *Н. А. Горячев*<sup>3,4</sup>, *Д. Г. Федосеев*<sup>1</sup>, *А. А. Карабцов*<sup>1</sup>, *Е. А. Вах*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. E-mail: vakh@fegi.ru

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия. E-mail: vakh.as@dvfu.ru

<sup>3</sup> Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шилов ДВО РАН, г. Магадан, Россия. E-mail: goryachev@neisri.ru

<sup>4</sup> Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: goryachev@neisri.ru

Приведены новые данные о составе сингенетических рудных микровключений в золотоносных пиритах из прожилково-вкрапленных и жильных руд гранитогенных месторождений Au-Bi типа, расположенных в восточной части Монголо-Охотского орогенного пояса. Установлено широкое развитие в них висмутсодержащих минеральных соединений переменного состава (висмутин-анкинитовая, матильдит-галенитовая и лиллианитовая серии, теллуриды и сульфотеллуридами Bi), находящихся в тесной ассоциации с самородным золотом. Результаты проведенных исследований дают новое понимание генезиса золото-висмутовой минерализации в гидротермальном процессе и могут быть использованы в качестве дополнительного критерия оценки физико-химических условий рудообразования.

**Ключевые слова:** минералы; пирит; золотая минерализация; рудные включения; Восточное Забайкалье.

## Mineral microinclusions in pyrite of gold deposits in Eastern Transbaikalia

*A. S. Vakh*<sup>1,2</sup>, *N. A. Goryachev*<sup>3,4</sup>, *A. A. Karabtsov*<sup>1</sup>, *D. G. Fedoseev*<sup>1</sup>, *E. A. Vakh*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok, Russia. E-mail: vakh@fegi.ru

<sup>2</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia. E-mail: vakh.as@dvfu.ru

<sup>3</sup> N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far Eastern Branch of the RAS, Magadan, Russia. E-mail: goryachev@neisri.ru

<sup>4</sup> A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: goryachev@neisri.ru

The paper gives new knowledge about the composition of syngenetic mineral microinclusions found in the gold-bearing pyrite of vein-disseminated and vein ores of Au-Bi granitogenic deposits located in the eastern part of the Mongol-Okhotsk orogenic belt. It has been established that bismuth-containing mineral compounds with varying composition, such as bismuthine-alkinite and lillianite-galena series, as well as tellurides and Bi-(sulpho)tellurides, are wide spread in the ores closely associating with the native gold. The results of the study have allowed new understanding of genesis of gold-bismuth mineralization in a hydrothermal process and could be supplemental criteria when evaluating physical-chemical conditions of ore formation.

**Keywords:** minerals; pyrite; gold mineralization; ore inclusions; Eastern Transbaikalia.

С помощью рентгеноспектрального микроанализатора JXA-8100 (Jeol) детально изучен элементный состав рудных микровключений в пиритах из продуктивных ранних золотоносных парагенетических ассоциаций жильных и прожилково-вкрапленных руд месторождений Карийского (Дмитриевское), Александровско-Ключевского (рудные зоны Западная и Ивачиха Александровского месторождения) и Итака-Могочинского (зона участок Малевский Итакинского месторождения и участок Придолинный месторождения Наседкино) золотоносных районов Восточного Забайкалья, расположенных в северном обрамлении восточного фланга забайкальской части Монголо-Охотской шовной зоны. Изучались сингенетические пиритам сульфидные микровключения, представленные тонкораспыленными каплеобразными, овальными или округлыми рудными выделениями, с размером основной массы порядка 0.5–2 мкм, гораздо реже — до 10–20 мкм. В основной массе пирита микровключения распределены крайне неравномерно и бессистемно, образуя в отдельных участках зерен единичные скопления. Реже рудные микровыведения ориентированы в виде цепочек, которые приурочены к участкам границ минеральных фаз представленных пиритом и As-содержащим пиритом (Итакинское месторождение). В редких случаях отмечается широкое развитие ориентированных равномерно распределенных микровключений, представленных типичными эмульсиевидными выделениями сфалерита и халькопирита (Александровское месторождение).

Рудные микровключения в пиритах представляют собой структуры распада твердых растворов, которые по составу представлены однородными гомогенными нестехиометричными минеральными соединениями.

В золотоносных вкрапленных кварц-турмалин-сульфидных рудах Дмитриевского месторождения в пиритах установлены микровключения (по степени распространенности): халькопирита, мине-

ральные соединения галенит-матильдитовой и (ряд Ag-Bi-содержащий галенит — ширмерит) и лиллианитовой гомологических серий (густавит-лиллианитовый ряд и хейровскиит-эскимоитовый ряд), минералы системы Pb-Bi-Cu-S (переменные соединения зальцбургит-фельберталитового ряда), висмутин (с содержаниями: Sb до 1.7 %; Cu — до 1.5 %, Se — 1 %), минералы Pb-Bi-S системы (козалит-хейроскиитовый ряд) и сульфотеллуриды (тетрадимит).

В золотоносных пиритах из березитизированных метасоматитов и кварц-карбонатных жил участка Западного Александровского месторождения микровключения представлены халькопиритом, сфалеритом, лиллианитовой гомологической серией (густавит-лиллианитовый ряд и хейровскиит-эскимоитовый ряд), минералами системы Cu-Bi-S (ходрушит-виттихенитовый ряд), Ag-содержащим галенитом (Ag до 3 %), висмутином (с содержаниями: Sb до 1.7 %; Cu — до 2.3 %, Pb — до 7.4 %), сульфотеллуридами висмута (тетрадимит и жозеит-B), минералами системы Pb-Bi-Cu-S (переменные соединения зальцбургит-фельберталитового ряда), ковеллином, самородным золотом (пробность 960-970 ‰) коллорадоитом и Hg-содержащим цумоитом (?).

Однотипный состав микровключений характерен и для золотоносных пиритов из турмалиновых эксплозивных брекчий участка Ивачиха Александровского месторождения. Установлены: халькопирит, минералы лиллианитовой гомологической серией (густавит-лиллианитовый ряд и хейровскиит-эскимоитовый ряд), минералы системы Cu-Bi-S (хорушит-виттихенитовый ряд), тетрадимит, минералы системы Pb-Bi-Cu-S (зальцбургит), ковеллин, самородное золото (пробность 960-970 ‰), коллорадоит,  $Cu_2Hg_2S_3$ .

В крупнозернистых агрегатах пирита из кварцевожилных и метасоматических образований месторождения Итака (участок Малеевский) выявлены микровключения арсенопирита, халькопирита, минеральные соединения галенит-матильдитовой (ряд Ag-Bi-содержащий галенит — шапбахит) и лиллианитовой (хейровскиит-эскимоитовый ряд) гомологических серий, тетрадимит, самородное золото (пробность 700-970 ‰), энаргит, бертьерит, колорадоит и висмутовый колорадоит.

Рудные включения из вкрапленных руд скарново-метасоматических образований месторождения Наседкино (участок Придолинный) представлены халькопиритом, минеральными соединениями лиллианитовой гомологической серией (густавит-лиллианитовый ряд), минералами системы Pb-Bi-S (козалит-лиллианитовый ряд), Ag-содержащим галенитом (до 2 % Ag), тетрадимитом.

Таким образом, в золотоносных пиритах из прожилковых и жильных руд рассматриваемых месторождений довольно широко развиты однотипные по составу включения, представленные висмут-содержащими минеральными соединениями переменного состава (висмутин-анкинитовая, матильдит-галенитовая и лиллианитовая серии, теллуриды и сульфотеллуридами Bi), что указывает на однотипную геохимическую специализацию (Au, Bi, Pb, Cu, Te) рудообразующего флюида в них, а также на тесную генетическую связь Au с Bi на ранних стадиях рудного процесса.

Набор сульфосолей, слагающих включения, имеет ярко выраженные специфические особенности. Они представлены однофазными гомогенными нестехиометричными минеральными соединениями, где основными компонентами являются халькофильные элементы с низкой температурой плавления (Pb, Bi, Ag, Te).

Сульфосоли, слагающие включения, занимают обособленное место в общей схеме рудного процесса. В рудах месторождений Александровское, Итакинское и Наседкино висмутовая минерализация практически полностью сосредоточена в виде микровключений в пиритах и не установлена в более поздних минеральных ассоциациях. Специфика сульфосолей в микровключениях определяется отсутствием в их составе в значительных количествах Sb, хотя в рассматриваемых месторождениях сурьмяная специализация проявлена весьма широко и определяется наличием в них в значительных количествах блеклой руды (как одного из основных минералов руд), висмутин (с аномально высокими концентрациями Sb, вплоть до хоробетсуита), а также минеральными соединениями системы Pb-Bi-Sb-S (Дмитриевское месторождение). Эта минералого-геохимическая особенность состава включений отражает общую тенденцию возрастной разобщенности между ранней Au-Bi и более поздней Sb минерализацией, проявленной на рассматриваемых золоторудных месторождениях Восточного Забайкалья.

Детальное изучение сингенетических микровключений в основных сульфидных минералах (пиритах и арсенопиритах) золоторудных месторождений представляет собой новое перспективное направление в области изучения минералого-генетических особенностей формирования золоторудных месторождений, позволяющая выявить закономерности состава рудоносного флюида ранних стадий формирования золоторудной минерализации в орогенных месторождениях. Результаты проведенных исследований дают новое понимание генезиса золото-висмутовой минерализации в гидро-

термальном процессе и могут быть использованы в качестве дополнительного критерия оценки физико-химических условий рудообразования.

*Исследования выполнены при частичной поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (№ 16-05-00283, № 16-35-60098), а также гранта ДВО РАН № 18-2-001.*

**Вах Александр Станиславович**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Дальневосточного геологического института ДВО РАН, г. Владивосток.