

Условия формирования и генезис золотоносных пирротитовых руд Восточного Саяна

© *Б. Б. Дамдинов*¹, *Л. Б. Дамдинова*¹, *С. М. Жмодик*², *А. Г. Миронов*¹

¹ Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: damdinov@mail.ru

² Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

Рассмотрены результаты исследования золотоносных пирротитовых руд, на примере рудопроявления Ольгинское. Руды представляют собой обогащенные сульфидными минералами, преимущественно пирротитом, углеродисто-гранат-биотит-кремнистые сланцы, входящие в состав вулканогенно-осадочной составляющей офиолитового комплекса. Оруденение отнесено к типу VMS — вулканогенным массивным сульфидным месторождениям, подвергнутым метаморфизму эпидот-амфиболитовой фации (T=450–500°C, P ~5 кбар), в ходе которого происходило преобразование рудных минералов, в частности, пирротинизация пирита, укрупнение частиц самородного золота, высвобождение примесных компонентов и вынос части рудообразующих элементов. Перенос осуществлялся в составе высококонцентрированных метаморфогенных флюидов, главными солевыми компонентами которых были хлориды Fe и Na. Сделан вывод о том, что первичные гидротермально-осадочные сульфидные руды явились одним из главных источников золота и рудообразующих компонентов при формировании золото-сульфидно-кварцевых месторождений юго-восточной части Восточного Саяна.

Ключевые слова: Восточный Саян; золотоносные пирротитовые руды; P-T условия формирования; генезис

Conditions of formation and genesis of gold-bearing pyrrhotite ores from the East Sayan

*B. B. Damdinov*¹, *L. B. Damdinova*¹, *S. M. Zhmodik*², *A. G. Mironov*¹

¹ Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: damdinov@mail.ru

² Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

The results of the investigation of gold-bearing pyrrhotite ores on the Olginskoye ore occurrence example are considered. Ores present the carbon-garnet-biotite-siliceous schists, enriched by sulfide minerals, mainly pyrrhotite, which are part of the volcanogenic-sedimentary component of the ophiolite complex. Mineralization is classified as VMS-volcanogenic massive sulphide deposit exposed by epidote-amphibolite facies metamorphism (T = 450–500 °C, P ~5 kbar). During the metamorphism ore minerals were transformed, in particular, pyrrhotinization of pyrite, coarsening of native gold particles, release of impurity components and removal of a part of ore-forming elements. The transfer was occurred by highly concentrated metamorphic fluids, where the main salt components were Fe and Na chlorides. It was concluded that the primary hydrothermal-sedimentary sulfide ores were one of the main sources of gold and ore-forming components in the formation of gold-sulfide-quartz deposits of the southeastern part of the Eastern Sayan.

Keywords: East Sayan; gold-bearing pyrrhotite ores; P-T conditions of formation; genesis

В юго-восточной части Восточного Саяна, в отложениях, относимых к верхней, вулканогенно-осадочной пластине офиолитового комплекса, известны проявления колчеданной преимущественно пирротитовой минерализации, приуроченной к углеродистым сланцам, в разной степени метаморфизованным [3]. Фрагменты и реликты аналогичных пирротитовых руд известны на месторождениях Урик-Китойской золоторудной зоны Восточного Саяна [4], однако их роль в составе оруденения неясна. Интерес к таким сульфидным телам связан как с их возможной практической значимостью, так и с решением ряда научных проблем, в числе которых можно выделить выяснение генезиса сульфидных руд и связанного с ними золотого оруденения. Для решения этих вопросов было проведено изучение Ольгинского рудопроявления золота, входящего в состав одноименной золоторудной зоны Окинского рудного района [2].

Площадь Ольгинского рудопроявления сложена кварц-биотитовыми, кварц-амфибол-биотитовыми сланцами с гранатом и углеродистым веществом, с прослоями кремнистых и углеродисто-кремнистых пород, амфиболитов, амфиболовых сланцев. Среди сланцев локализуются субоглазные сульфидные тела и редкие малосульфидные кварцевые жилы. Многие признаки указывают на синхронность формирования сульфидных тел с вмещающими вулканогенно-осадочными отложениями.

Сами руды представляют собой обогащенные сульфидными минералами, преимущественно пирротитом, углеродисто-гранат-биотит-кремнистые сланцы с примесью других силикатных минералов — тремолита, хлорита, альбита, плагиоклаза, диопсида, эпидота. В результате чего, в рудах характеризуются высокими концентрациями S, Si и Fe, кроме того повышены содержания Mn, As, Cu, Pb, Zn. Средние содержания Au в сульфидных рудах — 1.48 г/т, в кварцевых жилах 1.25 г/т. Гео-

химические характеристики рудных сланцев показывают их схожесть с надсубдукционными базальтами задуговых зон спрединга [8]. Следовательно, первичные породы представляли собой смесь вулканокластитов и вулканитов базальтового состава с кремнистыми отложениями, содержащую большое количество сульфидов Fe, минералов Mn (возможно в виде Mn корок) и углеродистое вещество. Такой состав практически полностью соответствует составу отложений гидротермальных построек в срединно-океанических хребтах и задуговых зонах спрединга — продуктов разгрузки «черных курильщиков» [1]. Это позволяет отнести данный тип оруденения к метаморфизованным аналогам месторождений типа VMS — вулканогенным массивным сульфидным месторождениям, представляющим собой стратиформные тела золотоносных сульфидных руд, которые осаждаются из гидротермальных растворов на дне морских или океанических бассейнов, в условиях дивергентных границ плит [5]. Считается, что появление таких месторождений связано с гидротермальной мобилизацией металлов из океанической коры [7].

Согласно полученным по минеральным геотермобарометрам P-T условия метаморфизма соответствуют низам эпидот-амфиболитовой фации (T=450–500°C, P ~5 кбар). Широкая изменчивость степени метаморфизма на локальных участках свидетельствует о развитии дислокационного типа метаморфизма, обусловленного положением вулканогенно-осадочной толщи в подошве офиолитового покрова. При метаморфизме первичных сульфидных руд происходило преобразование рудных минералов, в частности, пирротинизация пирита, укрупнение частиц самородного золота, высвобождение примесных компонентов и вынос части рудообразующих элементов. Как показано в работе [6], такие компоненты как Cu, Pb, Zn, Ba, Ca могут выноситься и переотлагаться поздними гидротермальными флюидами в ходе эволюции подводной гидротермальной системы, при формировании сульфидной постройки за счет просачивания флюидов сквозь более ранние сульфидные залежи. Наличие флюидной фазы было установлено нашими исследованиями, однако её появление было обусловлено процессами метаморфизма, протекавшими при обдукции офиолитовых блоков, за счет дегидратации метаморфизующихся литокомплексов [9]. Термобарогеохимические исследования жильного кварца позволили установить, что кварцевые жилы сформировались гетерогенными флюидами, состоящими из рассола (26.3–33.0% экв. NaCl) и газовой фазы, в температурном интервале +536...+340°C и относительно низких давлениях 170–520 бар. Основными солевыми компонентами рудообразующих растворов являются FeCl₂ и NaCl. Формирование жил происходило при понижении температуры и резком падении давления, связанном с появлением открытых полостей в результате тектонических деформаций, в которые попадал просачивающийся метаморфогенный флюид. Изотопный состав кислорода, рассчитанный для равновесного с кварцем флюида, показал значения, характерные для метаморфогенных вод ($\delta^{18}\text{O} = 12.2\text{--}17.3\text{‰}$), что согласуется с общей геологической ситуацией.

Известно, что золото, а также Pb, Cu, Zn в гидротермальных растворах переносится в составе хлоридных или гидросульфидных комплексов [10]. Наличие хлоридов во флюиде установлено методами криометрии, а высокая насыщенность среды серой, позволяет предполагать и её присутствие в составе растворов. Здесь следует заметить, что в рудных телах золото-сульфидно-кварцевых месторождений региона (Зун-Холбинское, Водораздельное, Зун-Оспинское и др.), содержащих золото-полисульфидную минеральную ассоциацию, с преобладанием пирита, галенита, сфалерита и халькопирита, часто присутствуют фрагменты и реликты первичных стратиформных сульфидных руд, аналогичных рудам Ольгинской зоны. Это дает основание считать такие гидротермально-осадочные сульфидные руды явились одним из главных источников золота и рудообразующих компонентов при формировании золото-сульфидно-кварцевых месторождений юго-восточной части Восточного Саяна.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант №18-05-00489-а

Литература

1. Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевиц А. М., Гурвич Е. Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 528 с.
2. Гордиенко И. В., Рощектаев П. А., Гороховский Д. В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 5. С. 405–429.
3. Новый тип золотого оруденения в стратиформных пирротиновых рудах Восточного Саяна / А. Г. Миронов [и др.] // ДАН. 1999. Т. 365. № 6. С. 798–801.

4. Миронов А. Г., Жмодик С. М. Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 1. С.54–69.
5. Galley A. G., Hannington M. D., Jonasson I. R. Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow W. D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods // Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. 2007. № 5. P. 141–161.
6. Ohmoto H. Formation of volcanogenic massive sulfide deposits: the Kuroko perspective // Ore Geol. Reviews. 1996. V. 10. P. 135–177.
7. Mobility of Au and related elements during the hydrothermal alteration of the oceanic crust: implications for the sources of metals in VMS deposits / C. J. C. Patten [et al.] // Mineralium Deposita. 2016. V. 51. P. 179–200.
8. Pearce J. A., Stern R. J. The Origin of Back-arc Basin Magmas: Trace Element and Isotopic Perspectives / Christie D. M., Fisher C. R., Lee S.-M., Givens S. (eds.) Back-Arc Spreading Systems: Geological, Biological, Chemical, and Physical Interactions. 2006. AGU monograph 166, Washington DC. P. 63–86.
9. Phillips G. N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model // Journal of Metamorphic Geology. 2010. V. 28. P. 689–718.
10. Seward T. M., Williams-Jones A., Migdisov A. The Chemistry of Metal Transport and Deposition by Ore-Forming Hydrothermal Fluids / Treatise on Geochemistry, Chapter: Volume 13: Geochemistry of Mineral Deposits, Publisher: Elsevier Ltd., Editors: Heinrich Holland and Karl Turekian, 2014. P. 29–57.

Дамдинов Булат Батуевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ.