

Александровское золоторудное месторождение: петрогеохимия пород и руд, источники и время образования оруденения

© *Б. Н. Абрамов*¹, *Ю. А. Калинин*², *А. А. Боровиков*³, *Р. А. Бадмацыренова*⁴, *В. Ф. Посохов*⁴

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. E-mail: b_abramov@mail.ru

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

E-mail: kalinin@igm.nsc.ru

³ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, г. Новосибирск, Россия.

E-mail: borovik@igm.nsc.ru

⁴ Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: brose@ginst.ru

Александровское золоторудное месторождение расположено в пределах Давенда-Ключевского рудного узла. Определен возраст рудообразования (Ar/Ar метод серицит) — $162 \pm 2,3$ млн лет, соответствующий возрасту интрузий амуджикано-шахтаминского комплекса. Установлено, что изотопный состав кислорода рудоносного кварца ($\delta^{18}\text{O} +6,0 \dots +13,9\%$) и серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S} -1 \dots +0,9\%$) соответствует магматическому источнику. Геохимические особенности состава руд указывают на то, что источниками оруденения были разнотемпературные в разной степени дифференцированные магматические флюиды. В образовании золотого оруденения месторождения принимали участие разные по концентрации и солевого составу гидротермальные флюиды.

Ключевые слова: золотое оруденение; магматический источник; изотопы кислорода и серы; флюидные включения; Восточное Забайкалье.

Alexandrovskoe gold deposit: petrogeochemistry of the rocks and ores, sources and time of mineralization formation

*B. N. Abramov*¹, *Yu. A. Kalinin*², *A. A. Borovikov*³, *R. A. Badmatsyrenova*⁴, *V. F. Posokhov*⁴

¹ Institute of Natural resources, Ecology, and Cryology, SB RAS, Chita, Russia. E-mail: b_abramov@mail.ru

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

³ National Research Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia. E-mail: borovik@igm.nsc.ru

⁴ Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: brose@ginst.ru

The Aleksandrovskoe gold deposit is located within Davenda-Klyuchevskoy ore cluster. The age of ore formation (Ar/Ar method sericite) is 162 ± 2.3 million years, that corresponds to the age of the intrusions of the Amudzhikano-Shakhtaminsky complex. It is established that the oxygen isotope composition of ore-bearing quartz ($\delta^{18}\text{O} +6,0 \dots +13,9\%$) and sulfide sulfur ($\delta^{34}\text{S} -1 \dots +0,9\%$) corresponds to the magmatic source. The geochemical features of the ore composition indicate that mid-water differentiated to varying degrees magmatic fluids were mineralization sources. Hydrothermal fluids of different concentration and salt composition took part in the formation of the gold mineralization of the deposit.

Keywords: gold mineralization; magmatic source; isotopes of oxygen and sulfur; fluid inclusions; Eastern Baikal.

Александровское золоторудное месторождение расположено в восточной части Забайкальского края, в пределах Давенда-Ключевского рудного узла, входящего в золото-молибденовый пояс, выделенный С. С. Смирновым [3]. Александровское месторождение является составной частью Давенда-Ключевского рудного узла, расположенного в Могочинском рудном районе Восточного Забайкалья. Район месторождения относится к юго-западной окраине Алдано-Витимского щита, в той ее части, которая примыкает к Монголо-Охотскому глубинному разлому.

В геологическом строении района месторождения принимают участие магматические интрузивные образования, относящиеся к нескольким разновозрастным формациям палеозойского и мезозойского возрастов. Стратифицированные образования верхнеархейского возраста, представленные метаморфогенными породами, имеют весьма незначительное распространение.

Образование золотого оруденения связывается с процессами формирования интрузивных образований амуджикано-шахтаминского комплекса. В районе месторождения представлены исключительно породами дайково-жильной серии: гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами, диоритовыми порфирами, фельзитами, микродиоритами, диабазами, лампрофирами различного состава (спесартиты, малхиты, грорудиты, эссекситы, спесартиты, одиниты, слюдяные лампрофиры). Средний возраст гранитоидов амуджикано-шахтаминского комплекса составляет $167-150$ млн лет [4].

На Ключевском золоторудном месторождении, расположенном в пределах Давенда-Ключевского рудного узла, образование золотого оруденения также парагенетически связано с

заключительными этапами образования даек амуджикано-шахтамиснского комплекса (лампрофирами, гибридными порфирами) [1].

Основное влияние на распределение золотого оруденения оказали узлы пересечения разломов северо-западного и северо-восточного простирания. К числу основных рудоконтролирующих структур относятся Главный и Александровский разломы. Основными рудовмещающими структурами являются сколовые трещины северо-западного простирания. Очень сильное влияние на локализацию оруденения оказал Пологий разлом. При пересечении его с крутопадающими жилами образуются прожилково-вкрапленные зоны, вытянутые в направлении линии их сопряжения. Вертикальный размах оруденения составляет около 200 м.

На месторождении выделяются несколько рудных зон: Центральная, Восточная, Северо-Восточная, Ивачиха, Вершина Ороченка, отличающиеся особенностями минерального состава. Основные промышленные запасы золота сосредоточены в Центральной зоне, расположенном между Главным и Александровским разломами.

В Центральной зоне рудные тела выполняют северо-западную систему трещин. Протяженность рудных тел по простиранию достигает 170 м. Кварцевые, кварц-карбонатные жилы содержат вкрапленность, иногда гнездовые и полосовидные скопления сульфидов, количество которых достигает 15%, в среднем составляя 5%. Сульфиды представлены, главным образом, пиритом, реже халькопиритом, в меньшей степени галенитом, сфалеритом.

На Александровском месторождении отмечается следующая последовательность образования минеральных ассоциаций: 1) молибденит-кварцевая; 2) кварц-турмалиновая; 3) висмутин-кварцевая; 4) пирит-кварцевая с золотом (продуктивная); 5) золото-кварц-полиметаллическая (продуктивная); 6) кварц-карбонатная. Наиболее распространенным рудным минералом является пирит, менее развиты — халькопирит, висмутин, тетраэдрит, борнит. Малораспространенные минералы представлены сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, тетрадимитом, теллуrowисмутином, золотом. К числу редких минералов относятся: самородное серебро, висмутин, пирротин, виттихенит, марказит, буланжерит, айкинит, гессит, магнетит, касситерит. Содержания сульфидов в рудах составляет 5-8%. В рудах пирит-кварцевой, кварц-полиметаллической и кварц-карбонатной ассоциаций отмечается редкоземельная минерализация представленная монацитом, ксенотимом, апатитом, рабдофаном и черчитом.

Формирование продуктивных пирит-кварцевых жил месторождения Александровское происходило в интервале температуры от 356 до 123°C, давление рудообразующих флюидов варьировало от 0.8 до 0.1 кбар [5]. Рудообразование происходило при участии гидротермальных флюидов высокой и средней концентрации, содержащих NaCl, FeCl₃ и KCl, а также гомогенных низкоконцентрированных флюидов, содержавших преимущественно CaCl₂, NaCl и LiCl. Гидротермальные флюиды существенно различающихся по солевому составу и концентрации, может служить указанием на разные источники их генерации [2, 8].

Изучение показало, что в рудоносном кварце (кварц-пиритовая ассоциация) изотопный состав кислорода изменяется от +6,0‰ до +13,9‰. Изотопный состав кислорода гидротермального флюида рассчитан в системе кварц-вода по уравнению $\delta^{18}\text{O}_{\text{кварц}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3,34 (10^6/\text{T}^2) - 3,31$, где T — температура по Кельвину [6]. Рассчитанный изотопный состав $\delta^{18}\text{O}$ во флюиде в равновесии с кварцем продуктивного этапа 340-400°C меняется от 0,42‰ до +9,84‰. Большинство значений попадает в интервал +5,5‰ — +9,0‰, соответствующий флюиду магматической природы.

Величины $\delta^{34}\text{S}$ пирита из гидротермальных образований в целом изменяются от -1‰ до +0,9‰, в галените $\delta^{34}\text{S}$ составляет +0,9‰. Значения $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ во флюиде, находящемся в равновесии с сульфидами в момент минералообразования, были рассчитаны по уравнениям фракционирования [7]. $\Delta_{\text{пирит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{пирит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = 0,4 (10^6/\text{T}^2)$, $\Delta_{\text{галенит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{галенит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = -0,64 (10^6/\text{T}^2)$. T — температура по Кельвину. Значения $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ пирита во флюиде варьирует от -0,13‰ до -2,39‰, что соответствует флюиду магматической природы.

Анализ распределения редких и РЗЭ указывает на то, что источниками оруденения были разноглубинные в разной степени дифференцированные магматические флюиды, функционировавшие как в верхней, так и в нижней континентальной коре.

Работа выполнена в рамках госзаданий (проект 0330-2016-0001, IX.137.1.2 № госрегистрации АААА-А17-117011210077-2) и при частичной поддержке РФФИ (грант 16-05-00353).

Литература

1. Абрамов Б. Н. Ключевское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Восточное Забайкалье) // Доклады Академии Наук. 2015. Т. 464. № 1. С. 85–90.

2. Состав и металлоносность рудообразующих флюидов Мо-W(Ве) месторождения Калгутинское (Горный Алтай) / А. А. Боровиков [и др.] // Геология и геофизика. 2016. № 4. С. 647–662.
3. Смирнов С. С. Схема металлогении Восточного Забайкалья // Проблемы советской геологии. 1936. Выпуск 6. № 10. С. 846–864.
4. Спиридонов А. М., Зорина Н. А., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 2006. 291 с.
5. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. Fluid Inclusions in Minerals Methods and Applications. В. De Vivo and M. L. Frezzotti, eds, pub. By Virginia Tech, Blacksburg, 1994. P. 117–130.
6. Matsuhisa Y., Goldsmith J. R., Clouton R. N. Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water // Geochim. Cosmochim. Acta. 1979. V. 43. P. 1131–1140.
7. Ohmoto H., Goldhaber M. B. Sulphur and carbon isotopes // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. N.Y.: Wiley and Sons, 1997. P. 517–612.
8. Physicochemical models of formation of gold–silver mineralization at the Rogovik deposit (Northeastern Russia) / T. V. Zhuravkova [et al.] // Ore Geology Reviews. 2017. 91. P. 1–20.

Абрамов Баир Намжилович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита.