

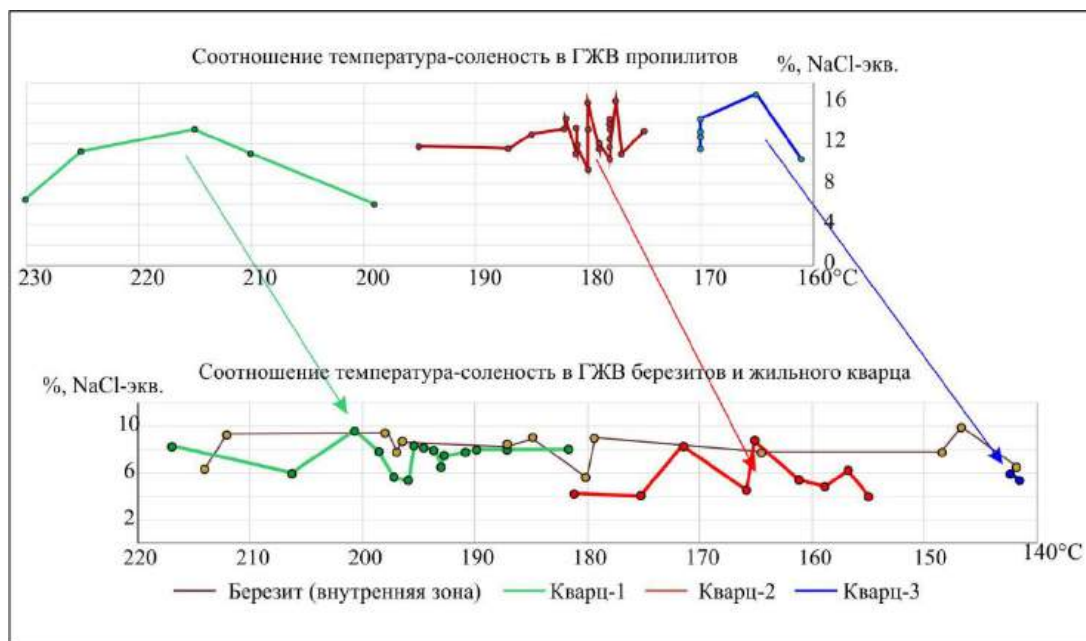


Рис. 3. Соотношение температура-соленость флюидных включений в кварце пропилитов, березитов и жил

Полученные результаты указывают на генетическое родство пропилитов и березитов, что объясняет их постоянную пространственную сопряженность. С другой стороны, кипящая жидкость и конденсат, образовавшийся из пара – это разные по составу и химическим свойствам гидротермальные растворы, формирующие формационно самостоятельные метасоматиты.

Соответственно, оба метасоматических процесса сопровождаются и завершаются жильной и рудной минерализацией. На кварцево-жильных месторождениях, примером которых является Центральное, рудный этап пропилитизации проявлен слабо, на скарновых месторождениях золото-сульфидное оруденение связано в большей степени с пропилитами, в меньшей – с березитами [4].

Данная работа выполнена при финансовой поддержке проекта FSWW-2023-0010.

Литература

1. Борисенко А.С. Исследование солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – № 8. – С. 16–27.
2. Ворошилов В.Г. Условия формирования Центрального рудного поля в гранитоидах (Кузнецкий Алатау) // Руды и металлы, 1995. – № 3. – С. 68–80.
3. Ворошилов В.Г., Молукпаева Д.К., Тимкин Т.В., Савинова О.В. / Генезис и минерально-геохимическая зональность кварцево-жильного золоторудного поля Центральное (Кузнецкий Алатау) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – №9. – С. 7-17.
4. Ворошилов В.Г., Санин В.Н., Тимкин Т.В. Аномальные геохимические поля зон сульфидной минерализации Майско-Лебедского золоторудного узла // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 3. – С. 36–41.
5. Молукпаева Д.К., Ворошилов В.Г. Особенности флюидных включений Центрального рудного поля (Кузнецкий Алатау) // Новое в познании процессов рудообразования: Двенадцатая Российская молодёжная научно-практическая Школа, Москва, 27 ноября – 01 декабря 2023 г.
6. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. – 1994. – P. 117–130.

МИНЕРАЛОГИЯ ПЕРВИЧНЫХ И ОКИСЛЕННЫХ РУД СОХАТИНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Молукпаева Д.К.

Научный руководитель профессор В.Г. Ворошилов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Сохатинское рудное поле расположено на территории Верхнеколымского улуса Республики Саха (Якутия), в бассейне реки Шаманиха и ее притока реки Сохатиный. Рудовмещающими породами являются хлорит-кварцевые, хлорит-эпидот-кварцевые и мусковит-кварцевые сланцы сохатинской толщи, по которым развиваются площадные пропилиты и линейные зоны березитов.

Формирование руд шло в два этапа: гидротермальный, где их образование сопряжено с образованием березитов, и гипергенный, когда происходило их окисление и дезинтеграция.

В пределах Сохатинского месторождения проявлен золото-сульфидно-кварцевый тип руд [1]. Минерализованные зоны с золото-сульфидно-кварцевым типом руд приурочены к зонам березитизации. Они представлены системой пологопадающих жильно-прожилковых тел карбонат-кварцевого состава с неравномерно распределенной сульфидной минерализацией. Наиболее рудоносными являются участки сопряжения пологопадающих надвиговых зон с крутопадающими разрывами, обычно маркируемыми прожилковой кварцевой минерализацией и повышенными концентрациями Au.

Жильные минералы представлены кварцем, карбонатом, реже хлоритом. Из карбонатов отмечаются анкерит, доломит и кальцит. Рудные минералы представлены сульфидами, теллуридами и селенидами, содержание которых составляет 5–10 %. Из сульфидов наибольшим распространением пользуется пирит. Характерными минералами первичных руд являются также халькопирит и галенит. Остальные сульфиды (сфалерит, арсенопирит, пирротин) развиты спорадически, золото-висмут-сульфотеллуридная минерализация обнаруживается только под электронным микроскопом.

Целью нашего исследования являлось выявление особенностей минералогии первичных и окисленных руд, а также оценка физико-химических параметров их образования с помощью исследования газово-жидких включений в кварце и карбонатах.

В пределах данного месторождения были выделены следующие минеральные ассоциации (ступени равновесия): наиболее ранняя представлена кварцем, кальцитом, баритом и пиритом; вторая ступень характеризуется отложением галенита и халькопирита с золотом и с третьей ступенью равновесия связана золото-висмут-сульфотеллуридная минеральная ассоциация [2]. Средняя проба гипогенного золота составляет 729,5 ‰.

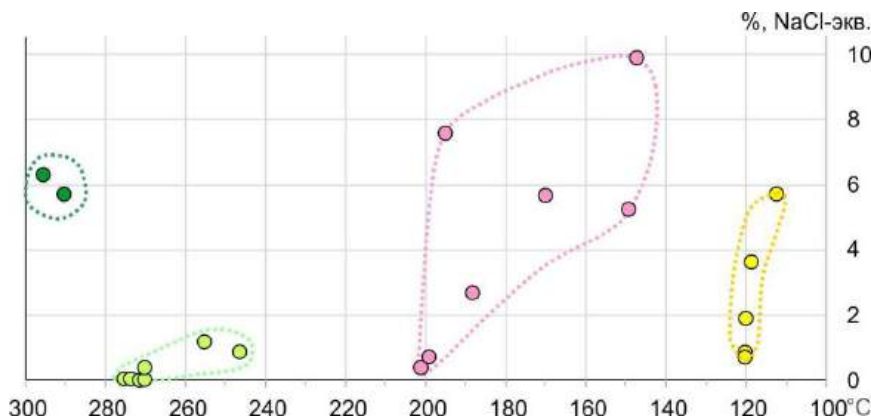
Ранняя минеральная **пиритовая ассоциация** вскрыта на месторождении практически всеми поверхностными горными выработками и скважинами, и пользуется наибольшим распространением. Основными нерудными минералами данной ассоциации являются кварц и карбонаты, редко барит. Из рудных минералов наибольшим распространением пользуется пирит. Во вмещающих породах выделяются хорошо ограненные метакристаллы пирита кубического габитуса. Включения золота в метапирите встречены не были. В жильных образованиях пирит нередко представлен хорошо ограненными идиоморфными кристаллами кубического габитуса, очень хрупкими. Внутреннее строение кристаллов в изломе слабо раковистое, часто зернистое, иногда встречаются фрамбоидальные образования пирита.

Золото-полиметаллическая ассоциация является одной из продуктивных на Сохатинском месторождении, ореолы её распространения определяют контуры рудных тел. Наиболее широко распространена в центральной части месторождения, постепенно выклиниваясь к флангам. Наблюдается в подавляющем большинстве случаев в жильных образованиях и лишь иногда в форме околожильной вкрапленности халькопирита в метасоматитах. В жилах и прожилках наблюдается в виде вкрапленности или гнездообразных скоплений, заполняющих интерстиции среди минералов ранней пиритовой ассоциации, а также цементирует последние при их катаклазе. Золото в рудах преобладает мелкое и тонкое, размер зерен составляет от 0,008 до 1,0 мм. Преимущественные размеры их составляют сотые доли миллиметра.

С третьей ступенью равновесия связана **висмут-сульфотеллуридная** минеральная ассоциация. Проявления её незначительны по объёму и выявлены только с помощью электронно-зондового микроанализа. В составе этой ассоциации установлены: аркубисит $\text{Ag}_{5.17}\text{Cu}_{1.8}\text{Bi}_{0.5}\text{S}_4$, селеноаркубисит $\text{Ag}_{5.24}\text{Cu}_{1.83}\text{Bi}_{0.64}(\text{S},\text{Se}_{0.33})_4$, висмутин $\text{Bi}_{1.9}(\text{S},\text{Se}_{0.02})_3$, сервеллит $\text{Ag}_{2.93}\text{Cu}_{0.69}(\text{Te}_{0.83},\text{Se}_{0.04})\text{S}$, матильдит $\text{AgBi}_{0.88}(\text{S},\text{Se}_{0.27})_2$, шапбахит $\text{Ag}_{0.4}\text{Pb}_{0.3}\text{Bi}_{0.41}\text{Cu}_{0.25}\text{S},\text{Se}_{0.16}$, науманнит $\text{Ag}_{2.1}\text{Se}$ и гессит $\text{Ag}_{2.09}\text{Te}$. Они чаще всего нарастают на кристаллы более ранних сульфидов и образуют вкрапленность в них. Секущих взаимоотношений между минералами внутри данной ступени не установлено. Характерной особенностью Сохатинского месторождения, в отличие от других золоторудных объектов района, является обогащённость поздней минерализации селеном, вплоть до образования собственного минерала науманнита. Селен присутствует также в гидрогеохимических ореолах, где наличие его аномальных содержаний является поисковым признаком.

Для характеристики условий формирования гипогенных руд нами были изучены газово-жидкие включения в жильном кварце и карбонатах по стандартной методике [3, 4]. Измерения проводились на приборе Linkam THMS600, совмещенном с оптическим микроскопом Carl Zeiss Axio Imager.

Выделены два вида включений – первичные и вторичные. Мы проводили изучение преимущественно по первичным (сингенетическим) включениям, так как они отражают изначальный флюидный раствор. Первичные включения делятся на два типа – двухфазные (жидкость + газ) и однофазные (либо жидкость, либо газ). Их размер не более 10 мкм, формы обычно вытянутые, округлые. Температуры эвтектической смеси в диапазоне 9–13 °C указывают на водный состав с хлоридом К. По соотношениям температур гомогенизации и солёности включений нами выделены 4 обособленных области (рис.): 1) интервал температур гомогенизации 300–295 °C и солёность 5.7–6.3 % NaCl экв; 2) соответственно, 275–245 °C и 0.35–1.2 NaCl-экв; 3) 201–147 °C и 0.4–9.9 % NaCl-экв; 4) 120–110 °C и 0.7–5.7 % NaCl-экв.



**Рис. Соотношение температура–солёность флюидных включений в кварце
Сохатинского месторождения**
(цветом выделены обособленные области, соответствующие отдельным ступеням минерализации)

Первый интервал отражает, видимо, переход от метаморфического этапа к гидротермальному. Вскипание этих растворов в результате подвижек по плоскостям надвигов привело далее к конденсации паровой фазы в виде низкоминерализованных растворов, маркером которых являются включения в диапазоне 275–245°C. С ними параллелизуется отложение раннего пирита. Широкий диапазон колебаний солёности растворов в интервале температур 201–147°C отражает основной этап рудоотложения с золото-полиметаллической минерализацией. Четвертая область на графике соответствует, видимо, формированию в узком температурном диапазоне 120–110°C висмут-сульфотеллуридной минерализации.

На Сохатинском месторождении сохранились фрагменты площадной остаточной палеоген-неогеновой коры выветривания с участками линейных кор выветривания вдоль рудовмещающих плоскостей надвигов. В связи с этим, в поверхностных условиях руды интенсивно окислены вплоть до образования глинистых агрегатов. Формированию золотоносной коры выветривания способствовала высокая (в сравнении с другими месторождениями района) сульфидность руд.

При этом порообразующие минералы преобразуются в монтмориллонит и каолинит. Пирит замещается аморфными агрегатами гидроокисидов железа – гетитом и гидрогетитом, в конечном итоге – рыхлым лимонитом. По халькопириту вначале образуется в виде каемок борнит, затем – ковеллин и халькозин, при максимальной степени выветривания в приповерхностных условиях – карбонаты меди (малахит и азурит). Более устойчивый галенит в зоне окисления замещается церусситом, сфалерит – смитсонитом.

Проба золота в зоне окисления составляет в среднем 858 ‰. Статистическая значимость отличия по составу гипергенного золота от гипогенного устанавливается с достоверной вероятностью 99,99 %. Таким образом, окисленное золото обогащено за счет процессов химического растворения и переотложения первичного золота с выносом серебра. Существенных различий в морфологических особенностях и размерности гипогенного и гипергенного золота на сегодняшний день не установлено.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 24-27-00022.

Литература

1. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: Изд-во СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
2. Тимкин Т.В., Ворошилов В.Г., Юркова М.В., Зиаи М. Минералогия руд Сохатинского золоторудного месторождения (Северо-Восток Азии, Россия) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2022. – Т. 333. – № 4. – С. 53–65.
3. Борисенко А.С. Исследование солевого состава растворов газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – № 8. – С. 16–27.
4. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. – 1994. – P. 117–130.

ТЕЛЛУРО-ВИСМУТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В РУДАХ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АБЫЗ И МАЛЕЕВСКОЕ (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

Николаева А. Н.¹

Научный руководитель профессор А. К. Мазуров

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Целью настоящей работы являлось изучение морфологии и условий образования редкой теллуру-висмутовой минерализации в рудах колчеданных месторождений Малеевское и Абыз, расположенных в Республике Казахстан. Новая информация о данных примесных элементах позволит обеспечить более комплексное