

куприт – 1–3 %, платиноиды до 1 %: сульфоарсениды иридия и платины – 0,5 %, кабриит – 0,5 %. ед. орселит, самородные фазы Cu–Fe. Хизлевудит слагает прожилки до 3 мм и находится в тесной парагенетической ассоциации с пентландитом, содержащим примесь Со, который занимает аналогичное по распространённости значение (рис. а–б). При этом устанавливается распад твердого раствора хизлевудита в виде «червеобразных» вростков в пентландите (рис. в). В хизлевудите в качестве включений встречается самородная медь, кабриит, сульфоарсениды иридия и платины (рис. в–ж). Зачастую эти минеральные фазы находятся в окантовке магнетита (рис. е–з). Размеры кабриита достигают 10 мкм (рис. ж). Сульфоарсенидов иридия и платины соответственно 20 мкм (рис. з). Вокруг сульфоарсенидов иридия и платины формируются арсениды никеля, в частности редкий арсенат никеля – орселит (рис. з). Куприт слагает вытянутые кристаллы, обрастающие самородную медь, находясь в ассоциации с кальцитом (рис. и).

Анализируя минеральную форму ЭПГ, напрашивается вывод о гидротермально-метасоматической природе этих сплавов. Так, например, большинство сульфоарсенидов и арсенидов, в том числе *орселит*, как считается, имеет гидротермальную природу. Серпентинизация является наиболее распространенным типом изменений, который воздействует на платиносодержащие перидотиты в земной коре. В процессе изменений происходит замещение оливина и пироксена серпентиновыми минералами и магнетитом посредством взаимодействия водного флюида с породой [Früh-Green et al., 2004; Evans et al., 2013; Evans et al., 2017]. Учитывая сидерофильную природу ЭПГ и доказательства их совместного присутствия со сплавами цветных металлов, имеющих вторичную природу [Evans et al., 2023; Kutuyev et al., 2021, Kutuyev et al., 2023], наблюдаемые особенности распределения металлов, вероятно, отражают подвижность ЭПГ и их переотложение в виде самостоятельных минеральных фаз как при процессах серпентинизации, так и при наложенных иных гидротермально-метасоматических процессах.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Наука № FSSWW–2023–0010, тема «Комплексные исследования на базе природных геологических лабораторий».

Литература

1. Пушкарев Е. В., Телегин Ю.М., Телегина Т.В. Состав включений в платиноидах как индикатор низкотемпературного, постмагматического генезиса МПГ в дунитах Светлого Бора, Платиноносный пояс Урала // Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы: всерос. конф. с междунар. участием: сб. докл. / РАН, УрО, Ин-т геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого [и др.]. – Екатеринбург, 2012. – С. 218–220.
2. Степанов С.Ю и др. Морфология, состав и онтогенез минералов платиновых металлов в хромитах зональных клинопироксен-дунитовых массивов Среднего Урала // Геология и геофизика. – 2020. – Т.61. – №1. – С. 60–83.
3. Толстых Н.Д. Платиновая минерализация массивов Кондёр и Ингали // Геосферные исследования. – 2018. – №1. – С. 17–32
4. Evans K.A. et al. Effects of Geodynamic setting on the redox state of fluids released by Subducted Mantle Lithosphere // Lithos. – 2017. – Vol. 278–281. – P. 26–42.
5. Evans B.W., Hattori K., Baronnet A. Serpentine: What, why, where // Elements. – 2013. – Vol. 9. – № 2. – P. 99–106.
6. Gretchen L. Früh-Green, James A.D. Connolly, Alessio Plas, Deborah S. Kelley B.G. Serpentinization of Oceanic Peridotites: Implications for Geochemical Cycles and Biological Activity. Geophysica. Geophysical Monograph Series. – 2004. Vol. 144. – P.119–136.
7. Klein F., Bach W. Fe-Ni-Co-O-S phase relations in peridotite-seawater interactions // J. Petrol. – 2009. – Vol. 50. – № 1. – P. 37–59.
8. Kutuyev A. et al. Behavior of Platinum-Group Elements during Hydrous Metamorphism: Constraints from Awaruite (Ni₃Fe) Mineralization. GeoScienceWorld. – 2023. – Vol. 2023. – P. 1–16.
9. Mungall, J.E., Naldrett A.J. Ore Deposits of the Platinum-Group Elements // Elements. – 2008. – Vol. 4. – P. 253–258
10. Naldrett A.J. Fundamentals of magmatic sulfide deposits, in: Li, C., Ripley, E. (Eds.), Magmatic Ni–Cu and PGE Deposits: Geology, Geochemistry and Genesis. Denver, Colorado // Society of Economic Geologists – 2011. – Vol. 17. – 370 p.
11. Pushkarev E. V., Anikina E.V., Kamenetsky V. Non-magmatic origin of PGM-rich chromitites in the Ural-Alaskan-type intrusions: mineralogical and structural // 12th International Platinum Symposium: 11-14 August 2014, Yekaterinburg, Russia: abstracts. – Yekaterinburg, 2014. – P. 275–276.

СООТНОШЕНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОПИЛИТОВ И БЕРЕЗИТОВ ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Молукпаева Д. К.

Научный руководитель профессор В. Г. Ворошилов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Для выявления сходства и различия в условиях формирования пропилитов и березитов исследованы газово-жидкие включения в предрудных, околорудных метасоматитах и жильном кварце Центрального золоторудного месторождения (Кузнецкий Алатау). Вмещающими породами в исследованной части рудного поля являются гранодиориты.

В гранодиоритах проявлены 3 формации метасоматических преобразований, сменяющих друг друга во времени и пространстве: 1) кварцево-каллишпат-биотитовые метасоматиты; 2) кварцево-эпидот-хлоритовые пропилиты и 3) березиты с сопряженными кварцево-золото-сульфидными жилами [3]. В пределах рудной стадии минерализации выделено 3 ступени формирования золотого оруденения: кварцево-пирит-арсенопиритовая, кварцево-полисульфидная и кварцево-теллуридно-сульфосольная [2]. Все они являются золотоносными. Пространственные взаимоотношения метасоматитов и руд иллюстрирует рисунок 1.

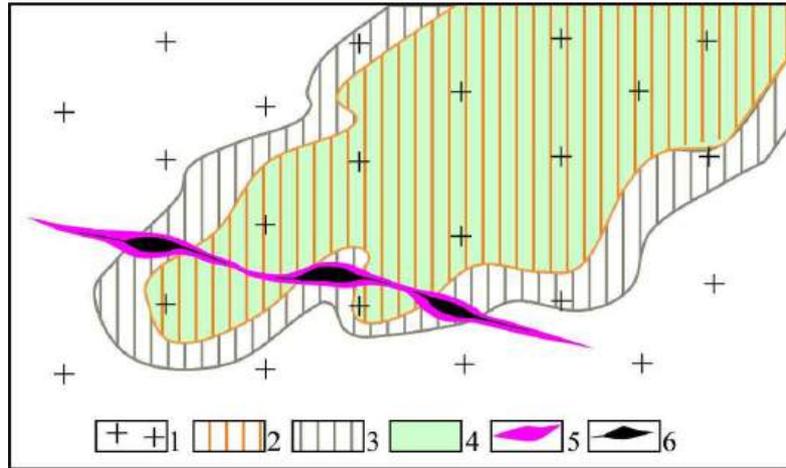


Рис. 1. Схема пространственных взаимоотношений метасоматитов и золотого оруденения в Центральном рудном поле: 1 – гранодиориты; кварцево-калишпат-биотитовые метасоматиты; 2 – калишпатизация; 3 – биотитизация; 4 – кварцево-эпидот-хлоритовые пропилиты; 5 – березиты; 6 – кварцево-золото-сульфидные жилы

Изучения газово-жидких включений проводились по первичным включениям по общепринятой методике [1, 6]. Измерения осуществлялись на приборе Linkam THMS600, совмещенном с оптическим микроскопом Carl Zeiss Axio Imager. Размеры включений различаются в зависимости от типа метасоматитов: в березитах и жильном кварце они не превышают 10 мкм, в пропилитах достигают 20 мкм (рис. 2). По данным температуры эвтектики в пропилитах водная фаза представлена хлоридом Na, в березитах и жилах – хлоридами K и Na.

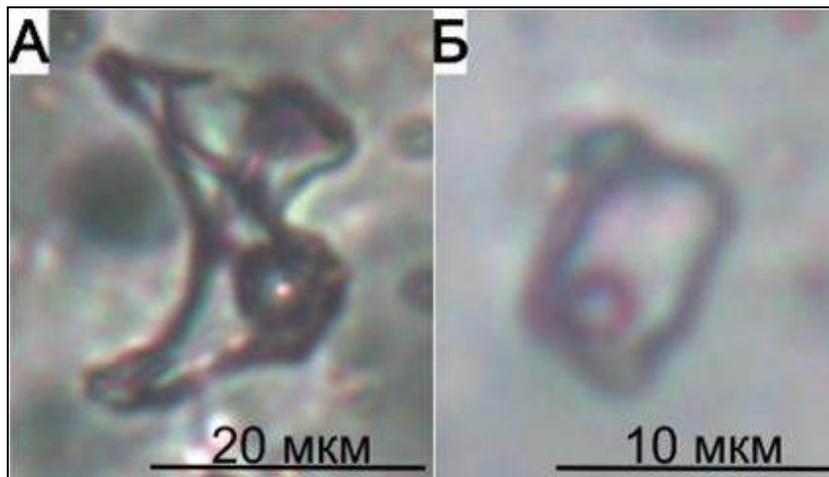


Рис. 2. Максимальный размер флюидных включений. А – двухфазное включение в пропилитах; Б – двухфазное включение в березитах

Газово-жидкие включения в кварце пропилитов характеризуются тремя интервалами температур 230–200 °С (средняя соленость 9,7 % NaCl-экв), 195–175°С (средняя соленость 12,7 % NaCl-экв) и 170–160°С (средняя соленость 13,2 % NaCl-экв). По резким колебаниям солености внутри этих интервалов выделено три эпизода кипения растворов: 1) 225–210 °С, 2) 183–175 °С, 3) 170–165 °С (рис.3). Вероятнее всего, эти вскипания связаны с колебаниями давления вследствие тектонических подвижек.

Следует подчеркнуть, что те же три эпизода кипения отмечались нами ранее в газово-жидких включениях березитов [5]. В жильном выполнении этим эпизодам соответствуют три генерации кварца с сопутствующей сульфидной минерализацией (рис. 3). Следовательно, пропилитизация, формирование березитов и отложение жильного кварца происходят фактически одновременно, на фоне эволюции тектонических структур.

Снижение солености растворов от пропилитов к жильному кварцу в 2–3 раза указывает на то, что источником этого кварца в значительной степени являлся конденсат паровой фазы, возникшей при кипении пропилитизирующих растворов.

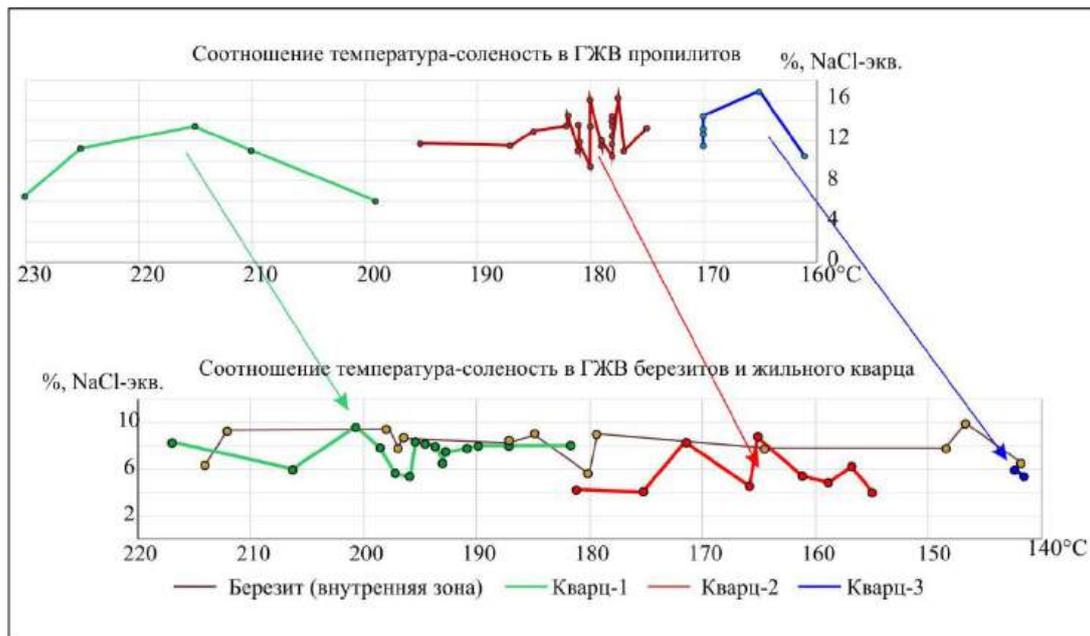


Рис. 3. Соотношение температура–соленость флюидных включений в кварце пропилитов, березитов и жил

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 скарных 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. Vodnar 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 Сохатинный. Рудовмещающими породами являются хлорит-кварцевые, хлорит-эпидот-кварцевые и мусковит-кварцевые сланцы сохатинской толщи, по которым развиваются площадные пропилиты и линейные зоны березитов.