

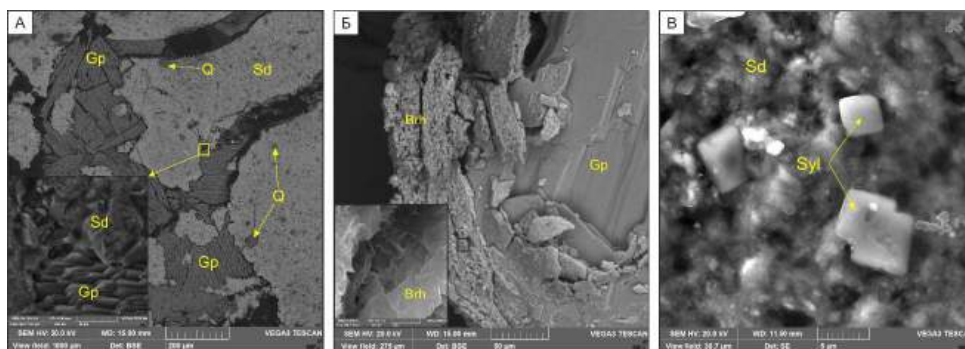


Рис. 2. Картинки СЭМ-съемки: (А) железняки первого типа с гипсовой минерализацией; (Б) бертьерин гипсовый ооид; (В) микровключения кристаллов сильвина в сидеритовом цементе. Sd – сидерит; Gp – гипс; Brh – бертьерин; Syl – сильвин

Исследования выполняются при финансовой поддержке проекта FSWW-2023-0010.

Литература

1. Геология СССР. Том 34. Тургайский прогиб. Часть 2. Полезные ископаемые / глав. ред. Сидоренко А.В. Москва: Недра, – 1975. – 304 с.
2. Максимов П.Н., Рудмин М.А. Минералого-геохимические особенности верхнемеловых морских железняков аятской свиты (Тургайский прогиб) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – Вып. 5. – С. 70–80.
3. Найдин Д.П. Разрез верхнего мела Кушмурун, Торгайский пролив // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2006. – Т. 4. – С. 3–9.
4. Папулов Г.Н., Железко В.И., Левина А.П. Верхнемеловые отложения южного Урала // Уральское отделение АН СССР, Свердловск. – 1990. – 214 с.
5. Bradacs, L.K., Ernst, W. Geochemische Korrelationen im Steinkohlenbergbau. Naturwissenschaften. – 1956. – Vol. 43. – P. 1–33.
6. Collin, P.Y., Loreau, J.P., Courville P. Depositional environments and iron ooid formation in condensed sections (Callovian-Oxfordian, south-eastern Paris basin, France). Sedimentology. 2005. – Vol. 52. – P. 969–985.
7. Garnit, H., Bouhlel, S. and Javis, I. Geochemistry and Depositional Environments of Paleocene-Eocene Phosphorites: Metlaoui Group, Tunisia. Journal of African Earth Sciences. – 2017. – Vol.134. – P. 704–736.
8. Goldschmidt V.M. und Peters Cl. Zur Geochemiedes Bors Teil I and II. Nachr. Ges. d. Wiss. Math.-phys. – 1932. – Vol.5. – P. 528–554.
9. Maximov P., Rudmin M. Origin of Upper Cretaceous marine ironstones of Ayat Formation (Turgay depression, Northern Kazakhstan) // Solid Earth Sciences. – 2023. – Vol 8. – P. 1–11. doi.org/10.1016/j.sesci.2023.02.002
10. Rudmin M., Banerjee S., Abdullayev A., Ruban A., Filimonenko E., Lyapina E., Kashapov R., Mazurov A. Ooidal ironstones in the Meso-Cenozoic sequences in western Siberia: assessment of formation processes and relationship with regional and global earth processes // Journal of Palaeogeography. – 2020. – Vol. 9. – № 1. – P. 1–21.
11. Sturesson, U. Lower Palaeozoic iron oolites and volcanism from a Baltoscandian perspective. Sediment. Geol. – 2003. – Vol.159 (3–4). – P. 241–256.
12. Van Houten, F.B. Bhattacharyya D.P. Phanerozoic oolitic ironstones – geologic record and facies model. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. – 1990. – Vol.1. – P. 441–457.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ПРИРОДА РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПЛАГИОКЛАЗОВЫХ ВЕРЛИТОВ БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА ДЮКАЛИ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Минаков М.С.¹, Левочский Б.Б.^{2,3}, Левочская Д.В.², Якич Т.Ю.¹

Научный руководитель доцент, к.г.-м.н. Т.Ю. Якич¹

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

²Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск, Россия

³Институт тектоники и геофизики им. А.Ю. Косыгина, ДВО РАН, г. Хабаровск

Самородным металлам и сплавам ЭПГ традиционно приписывают магматическую природу и относят их к весьма устойчивым к постмагматическим гидротермальным процессам, однако доказано [Пушкарев, 2012; Pushkarev, 2014 Толстых, 2018; Степанов, 2020; Kutuyev, 2023], что эффекты, связанные с активной флюидной деятельностью, преобразующей исходные ультраосновные породы, могут играть значительную роль в перераспределении и накоплении ЭПГ, и являться одним из главных факторов концентрирования последних.

Для изучения роли флюидно-гидротермальных процессов при накоплении и перераспределении ЭПГ были изучены породы массива Дюкали, расположенного в Комсомольском районе Хабаровского края. Образцы, в которых обнаружены арсениды никеля, иридия, платины представлены *плагноклазовыми верлитами*, состоящими из оливина и клинопироксена, в меньшей степени ортопироксена и роговой обманки, сосюритизированных плагноклазов, кальцита и рудной минерализации. Примерное количественное соотношение минеральных фаз, %: оливин – 40–50 %, клинопироксен – 20–30 %, ортопироксен – 5–10 %, серпентин – 5–10 %, плагноклаз – до 5 %, сосюрит – 2 %, кальцит – 2 %, рудная минерализация – 5–7 %, роговая обманка – 2 %.

Гипидиоморфные зерна *оливина* разбиты трещинами, по которым развивается серпентин и местами пылевидные рудные агрегаты. Зерна ортопироксенов и клинопироксенов имеют неправильные формы. По минералам диагностируются слабые псевдоморфозы серпентина. Часто отмечаются вросстки пироксенов друг в друга, что характеризует симплективную микроструктуру. Плагиоклаз, представленный в образцах в роли второстепенного минерала, характеризуется изометричными вытянутыми зернами с соотношением длины и ширины 2:1, при этом средняя длина составляет 0,6 мм.

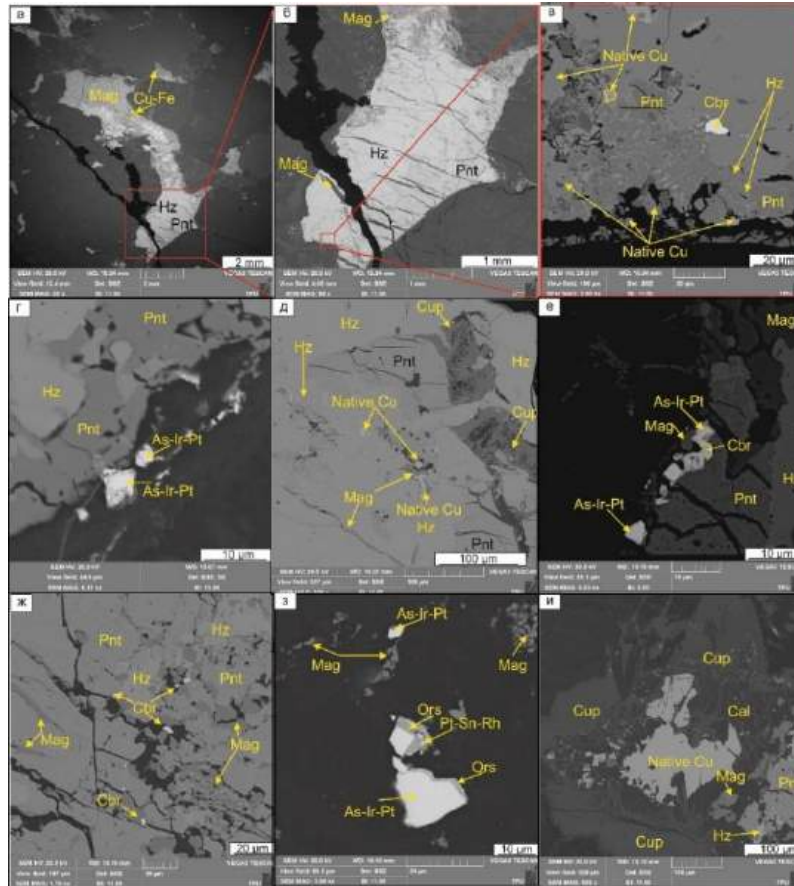


Рис. Микрофотографии плагиоклазового верлита массива Дюкали в обратно-отраженных электронах сканирующего электронного микроскопа. Совместные агрегаты хизлевудита (Hz), пентландита (Pnt) и магнетита (Mag), содержащие самородные фазы Cu-Fe сплавов (а); увеличенный фрагмент хизлевудит (Hz)-пентландитовых (Pnt) сростаний, пересекающихся и обрастающих магнетитовыми (Mag) агрегатами в виде прожилков и мелкозернистых скоплений (б); увеличенный фрагмент распада твердого раствора системы Fe-Ni-S в виде «червеобразных» вростков хизлевудита (Hz) в пентландите (Pnt) в ассоциации с самородной медью (Native Cu) и кабриитом (Cbr) (в); пентландит (Pnt) -хизлевудитовая (Hz) минеральная ассоциация с сульфидными иридия и платины (As-Ir-Pt) (г) и включениями самородной меди (Native Cu), куприта (Cup) и магнетитовыми (Mag) прожилками (д); совместная ассоциация сульфидов иридия и платины (As-Ir-Pt) и кабриита (Cbr) в пентландит (Pnt) -хизлевудитовом (Hz) сростании с магнетитом (Mag) (е); разрозненные зерна кабриита (Cbr) в пентландит (Pnt) -хизлевудитовом (Hz) агрегате с магнетитом (Mag) (ж); идиоморфные кристаллы сульфидов иридия и платины (As-Ir-Pt), оконтуренные орселитом (Ors) с единичными включениями Pt-Sn-Rh сплавов микронного размера в ассоциации магнетитовых (Mag) тонкозернистых агрегатов (з); агрегаты самородной меди (Native Cu) в центральной части анишля, окаймленные по внешнему контуру игольчатыми кристаллами куприта (Cup) и зернами кальцита на границе с магнетит (Mag) -пентландитовым (Pnt) сростком (и)

Агрегаты соскорутизированы, а по микротрещинам кальцитизированы, за счет чего местами представлены полуреликтами. Рудная минерализация местами также заполняет пустоты и образует выделения неправильных форм размером в длину до 0,6–0,8 мм. Текстура – массивная, плотная. Структура – от средне- до крупнозернистой. Микроструктура – гипидиоморфнозернистая, местами пойкилитовая, петельчатая, пылевидно-цепочечная, полуреликтовая, симплективная. Рудная минерализация весьма специфична и представлена хизлевудитом (Ni_3S_2), пентландитом, кабриит (Pd_2CuSn), самородной медью, купритом, сульфидными иридия и платины, орселитом (Ni_5-xAs_2), самородными фазами Cu-Fe. В процентном отношении преобладают хизлевудит – 25–30 %, пентландит – 25–30 % и магнетит – 25–30 %, в меньшем количестве встречается самородная медь – 1–5 %, халькопирит – 1–3 %, а также кабриит, куприт, кальцит, орселит, сульфиды иридия и платины, самородная медь.

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. Пушкарёв 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-калийшпат-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.