

**Сульфиды, интерметаллиды и самородная медь в мантийных перидотитах п-ова Камчатский Мыс**

*Савельев Д.П., Москалева С.В.*

**Sulfides, intermetallics and native copper in mantle peridotites from the Kamchatsky Mys peninsula**

*Savelyev D.P., Moskaleva S.V.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

*e-mail: savelyev@kscnet.ru*

В гарцбургитах из офиолитового комплекса Камчатского Мыса описаны сульфиды Cu и Ni, самородная медь, аваруит и микровключения  $(\text{Cu?})\text{Pd}_5\text{In}_2$ . Структура и состав изученных пород свидетельствует в пользу первичного (мантийного) происхождения сульфидов. Самородные фазы образовались при восстановлении металлов из сульфидов водородом.

Офиолитовый комплекс п-ова Камчатский Мыс включает в себя мантийные перидотиты (дуниты, гарцбургиты, лерцолиты), пироксениты, габбро, параллельные дайки долеритов, базальты и пелагические осадочные породы [6]. Реститогенные мантийные перидотиты распространены в основном в пределах массива г. Солдатской, особенностью которого является наличие участков (блоков) свежих, почти несерпентинизированных ультраосновных пород. Почти во всех породах офиолитового комплекса описаны включения разнообразных минералов платиновой группы (МПГ), наиболее богаты которыми кумулятивные клинопироксениты и вебстериты [1, 3, 7], хромититы [2], а также плагиоклазовые пикриты [9]. Разнообразные МПГ и интерметаллиды наблюдаются также в шлиховых ореолах водотоков, дренирующих массив и окружающие его зоны меланжа [4, 8, 10], МПГ часто описаны в ассоциации с сульфидами, а также вместе с аваруитом или самородной медью, развивающимися по сульфидам. В мантийных перидотитах комплекса МПГ встречаются значительно реже: в образце лерцолита описано одно выделение ферроплатины размером 1.5 мкм и примесь палладия в самородной меди [3].

Нами изучены образцы свежего (без видимой серпентинизации) гарцбургита с массива г. Солдатской, содержащего зерна сульфидов и выделения самородной меди до 1 мм размером. Микроскопическое исследование породы показало крайне незначительное развитие серпентина (доли процента), это также подтвердилось при проведении химического анализа – потери при прокаливании оказались отрицательными (ппп = -0.37, захват кислорода при окислении двухвалентного железа дает больший прирост массы, чем потеря воды). Порода сложена 80 % оливина, 16 % ортопироксена, 3.5 % клинопироксена и 1 % хромистой шпинели (состав рассчитан из химанализа по программе Б.А. Базылева (ГЕОХИ РАН)), сульфиды составляют менее 1 %, они распространены неравномерно. Рентгенофлуоресцентный анализ породы показал следующие содержания петрогенных оксидов (в мас. %):  $\text{SiO}_2=43.62$ ,  $\text{TiO}_2=0.01$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=0.66$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3=9.36$ ,  $\text{MnO}=0.13$ ,  $\text{MgO}=45.64$ ,  $\text{CaO}=1.06$ .

Сульфиды представлены пентландитом и халькопиритом, иногда образующими отдельные зерна, но чаще в срастаниях друг с другом. Большая часть сульфидов развита в межзерновом пространстве, но небольшие выделения наблюдаются внутри зерен ортопироксена и хромшпинели (рис. 1). Развитие вторичных изменений по сульфидам неравномерно. В пределах одного шлифа встречаются как совершенно свежие зерна, так и частично замещенные аваруитом (по пентландиту) и самородной медью (по халькопириту) (рис. 2). Сходный характер замещений сульфидов описан в платиноносных оливиновых вебстеритах, найденных в западной части массива г. Солдатская [1].

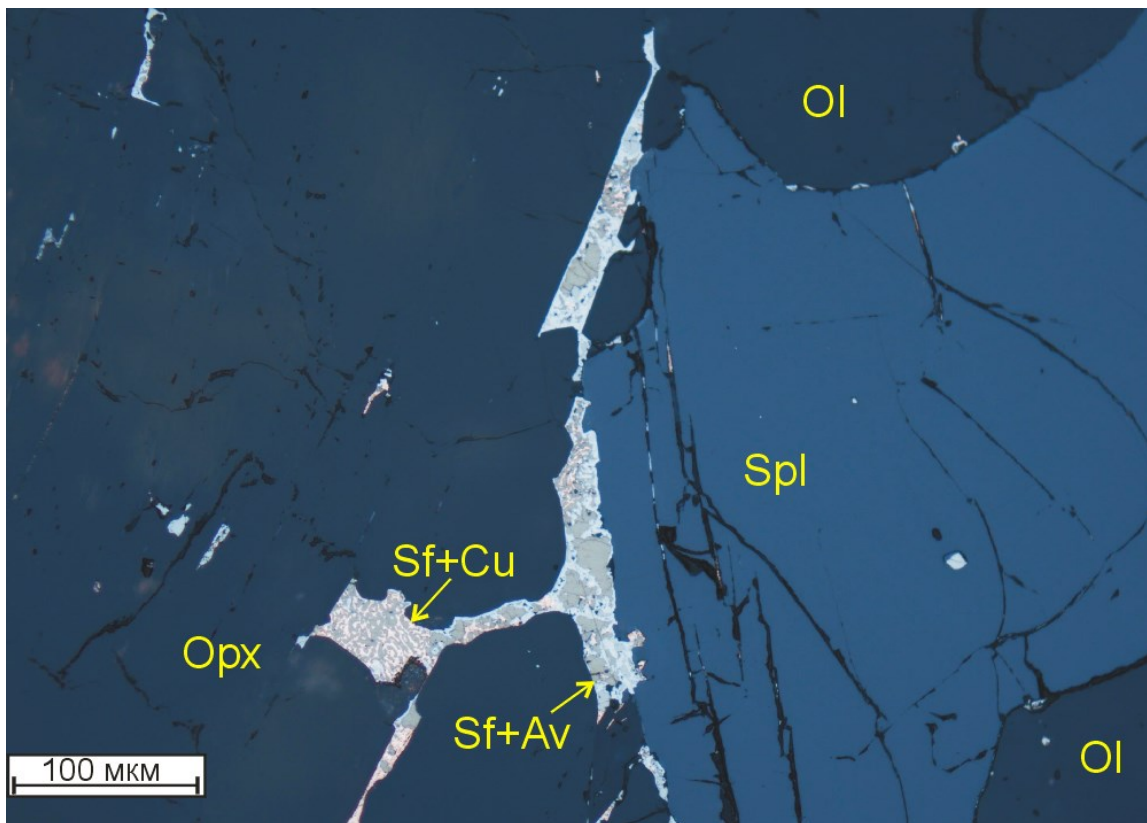


Рис. 1. Выделения сульфидов (частично замещенных аваруитом и самородной медью) на границе зерен и внутри них. Ol – оливин, Орх – ортопироксен, Spl – хромшпинелид, Sf – сульфид, Cu – самородная медь, Av – аваруит.

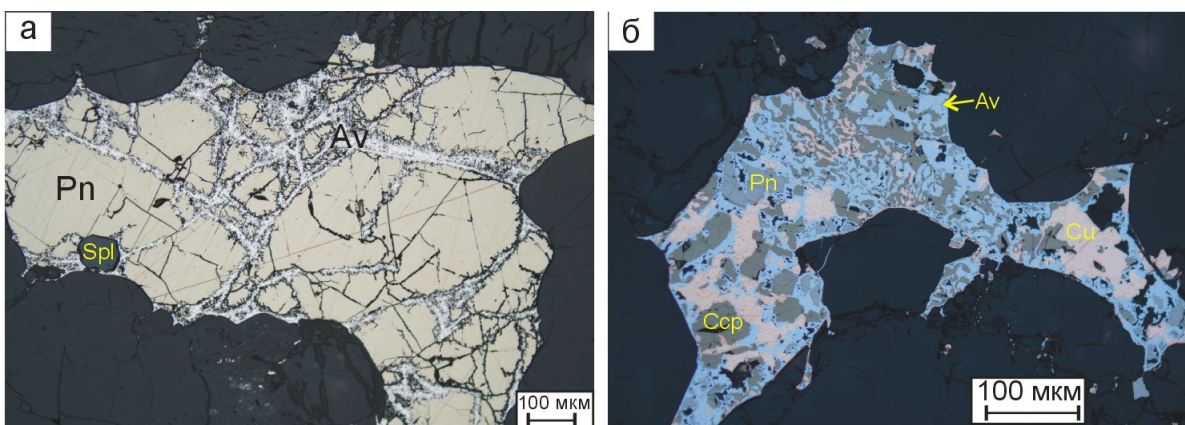


Рис. 2. Замещение сульфидов: а – пентландита (Pn) аваруитом (Av); б – пентландита и халькопирита (Csp) аваруитом и самородной медью (Cu). Снимки сделаны на микроскопе Nikon ECLIPSE LV100N POL в отраженном свете.

Замещение сульфидов самородной фазой связано с просачиванием водорода через породу и восстановлением  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  в сульфидах до  $Fe^0$ ,  $Ni^0$  и  $Cu^0$ . Водород образуется при серпентинизации богатых оливином пород, в пределах массива г. Солдатская он был обнаружен в растворенном виде (до 0.6 ммоль/л) в нескольких гиперщелочных источниках [5]. Интенсивная серпентинизация происходит в основном по тектоническим зонам, где породы массива подвергаются воздействию воды и водных флюидов, а выделившийся при этом водород просачивается через участки, не затронутые серпентинизацией. Наши наблюдения показывают, что процесс образования самородных фаз по сульфидам на локальных участках может проходить без серпентинизации: аваруит и самородная медь интенсивно замещают сульфиды в практически свежей (без серпентина) породе (рис. 2).

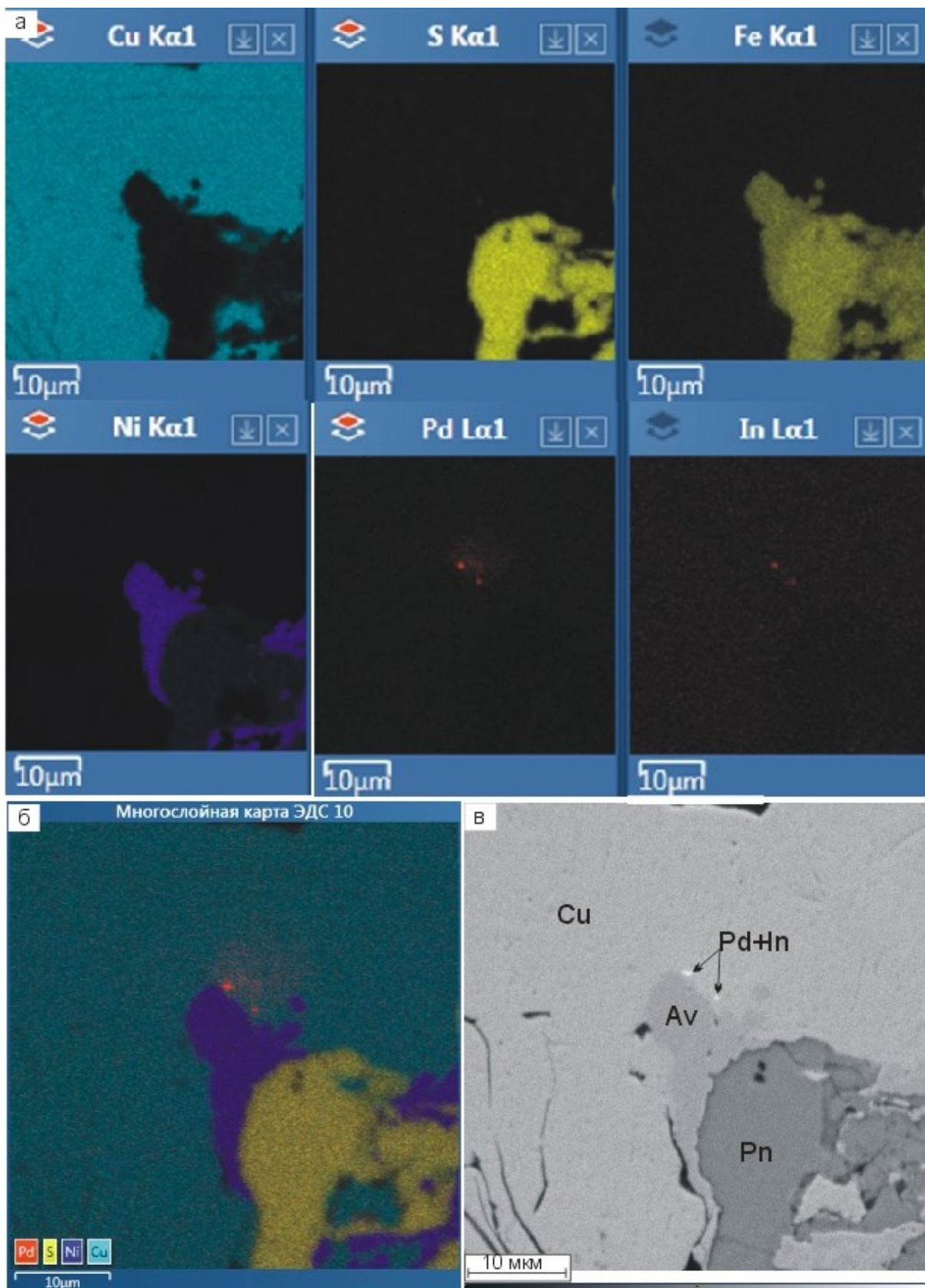


Рис. 3 Поэлементные карты участка с выделениями МПГ (а), мультиэлементная карта (б) и изображение этого участка в обратноотраженных электронах (в). Pn – пентландит, Cu – самородная медь, Av – аваруйт, Pd+In – включения фазы  $(\text{Cu})\text{Pd}_5\text{In}_2$ .

Кроме сульфидной и самородной фаз железа, меди и никеля, при изучении пород на сканирующем электронном микроскопе внутри самородной меди были обнаружены два выделения, примерно соответствующие составу  $(\text{Cu})\text{Pd}_5\text{In}_2$ .

Выделения расположены в самородной меди вблизи контакта с аваруитом (рис. 3). Размер выделений меньше 1 мкм, что не позволяет выяснить, входит медь в состав интерметаллидной фазы или в анализ попадает медь, вмещающая это микровключение. Включений МПП с In не описано ни в одной другой породе офиолитового комплекса Камчатского Мыса; в базах данных минеральных видов интерметаллиды палладия и индия не значатся. По-видимому, палладий и индий были растворены в виде примеси в сульфидной фазе (халькопирите), а в виде микровыделений интерметаллида сформировались при восстановлении самородной фазы. В пользу этой модели говорит ореол примеси палладия в самородной меди вокруг микровключений МПП (рис. 3б).

Работа выполнена при финансировании по теме НИР № FWME-2024-0012 Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

### Список литературы

1. *Новаков Р.М., Иванов В.В., Трухин Ю.П., Панова Е.Г.* Медно-никелевая и благороднометалльная минерализация в оливиновых вебстеритах п-ова Камчатский Мыс (Камчатка) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2015. Вып. 4. С. 83-97.
2. *Савельев Д.П., Москалева С.В., Щербаков В.Д., Шайхутдинова Д.Р.* Хромититы альпинотипных гипербазитов Восточной Камчатки // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXVI ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2023 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2023. С. 172-175.
3. *Савельев Д.П., Философова Т.М.* Микровключения минералов элементов платиновой группы и золота в породах офиолитового комплекса п-ова Камчатский Мыс // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2017. № 2. С. 5-13.
4. *Сандимирова Е.И., Сидоров Е.Г., Чубаров В.М. и др.* Самородные металлы и интерметаллиды в шлиховых ореолах реки Ольховая 1-я (Камчатский Мыс, Восточная Камчатка) // Записки Российского минералогического общества. Ч. СХLII. № 6. С. 78-88.
5. *Таран Ю.А., Савельев Д.П., Пальянова Г.А., Покровский Б.Г.* Щелочные воды ультраосновного массива г. Солдатской (Камчатка): химический и изотопный состав, минералогия и <sup>14</sup>C-возраст травертинов // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 1. С. 30-37. <https://doi.org/10.1134/S1028334X23600093>
6. *Хотин М.Ю., Шапиро М.Н.* Офиолиты Камчатского Мыса (Восточная Камчатка): строение, состав, геодинамические условия формирования // Геотектоника. 2006. № 4. С. 61-89.
7. *Черкашин Р.И., Савельев Д.П., Философова Т.М.* Интерметаллиды платины и палладия в оливиновых клинопироксенитах офиолитового комплекса п-ова Камчатский Мыс // Материалы XXI региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 29-30 марта 2018 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. С. 210-213.
8. *Kutyrev A., Kamenetsky V.S., Kontonikas-Charos A. et al.* Behavior of platinum-group elements during hydrous metamorphism: Constraints from awaruite (Ni<sub>3</sub>Fe) mineralization // Lithosphere. 2023. V. 1. Art. 126. [https://doi.org/10.2113/2023/lithosphere\\_2023\\_126](https://doi.org/10.2113/2023/lithosphere_2023_126)
9. *Savelyev D.P., Kamenetsky V.S., Danyushevsky L.V. et al.* Immiscible sulfide melts in primitive oceanic magmas: evidence and implications from picrite lavas (Eastern Kamchatka, Russia) // American Mineralogist. 2018. V. 103. Is. 6. P. 886-898. DOI: <http://doi.org/10.2138/am-2018-6352>
10. *Tolstykh N., Sidorov E., Kozlov A.* Platinum-group minerals from the Olkhovaya-1 placers related to the Karaginsky ophiolite complex, Kamchatskiy Mys peninsula, Russia // Canadian Mineralogist. 2009. V. 47. P. 1057-1074.