

**Интерметаллиды платины и палладия в оливиновых клинопироксенитах офиолитового комплекса п-ова Камчатский Мыс**

*Р.И. Черкашин, Д.П. Савельев, Т.М. Философова*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: romainchik@yandex.ru*

В докладе представлены новые данные о микровключениях интерметаллидов платиноидов в оливиновых пироксенитах, входящих в состав офиолитового комплекса п-ова Камчатский Мыс. Изучен состав Fe-Ni-Cu сульфидов, с которыми ассоциируют микровключения. В большинстве наггетов платиноиды представлены Pd и/или Pt, частой примесью в них являются Hg и Te. По составу платиноидов микровключения интерметаллидов в оливиновых пироксенитах сходны с микровключениями в плагиоклазовых пикритах того же комплекса, но отличаются от них составом других элементов.

Вопрос платиноносности офиолитовых комплексов является одним из современных направлений минерагенических исследований. Офиолитовый комплекс п-ова Камчатский Мыс имеет сложное строение, и перспективы его платиноносности, так же как и его геодинамическая позиция, остаются спорными. Комплекс сложен гипербазитами, габброидами, долеритами и базальтами, он включает в себя также палеоокеанические вулканогенно-осадочные образования [7]. Наиболее крупным выходом ультрамафитов комплекса является Солдатский гипербазитовый массив, обрамленный зоной серпентинитового меланжа. В пределах площади этого массива ранее были описаны проявления и пункты минерализации Cu, Au, Pt, Cr [1]. Особый интерес вызывают находки сульфидов, включающих интерметаллиды платиноидов. Такие сульфиды найдены в разных породах офиолитового комплекса, претерпевших незначительную серпентинизацию, таких как оливиновые вебстериты, пикриты и оливиновые пироксениты [2, 3, 5, 6].

Изученные оливиновые клинопироксениты отобраны во время полевого сезона 2017 г. в тектоническом блоке в зоне серпентинитового меланжа к востоку от гипербазитового массива г. Солдатской. Породы описаны в элювиальных высыпках, маркирующих тектонический блок размером ~140 м (ширина выхода на горизонтальной поверхности на перевале) [6]. Из отобранных образцов были изготовлены две шашки, залитые эпоксидной смолой и отполированные, в одной из них крупный образец породы, в другой – 14 микрокернов, высверленных из породы, в которых заранее на рудном микроскопе были определены сульфиды. Затем шашки изучались на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) VEGA-3 с ЭДС X-MAX в ИВиС ДВО РАН. Также были изготовлены шлифы и выполнено петрографическое описание породы на поляризационном микроскопе МП-201.

Оливиновые клинопироксениты имеют полнокристаллическую среднекрупнозернистую гипидиоморфнозернистую структуру и однородную текстуру. Состав породы полиминеральный, и для образцов, изученных на СЭМ, главные породообразующие минералы – клинопироксен (90%), оливин (6-7%) и ортопироксен (3%). В других образцах оливин составляет до 15% всей массы, что говорит о переменном количестве оливина в изученном блоке клинопироксенитов. Кристаллы клинопироксена имеют размер от 0,5 до 5-6 мм и отличаются средним идиоморфизмом по сравнению с более мелкими (от 0,3 до 1 мм) ксеноморфными кристаллами оливина. Вторичные минералы – серпентин (до 1%) и магнетит, развитые по трещинам в оливине. Распределение зерен сульфидов в породе очень неравномерно, их количество составляет, по видимому, порядка долей процента от объема породы.

При изучении на СЭМ внимание в первую очередь уделялось вкрапленникам сульфидов и поискам в них микровключений, обогащенных ЭПГ и другими редкими

или благородными металлами. Такие микровключения выделяются на фоне сульфидов более яркими окрасками на изображении в обратно рассеянных электронах. Некоторые микровключения находились вне сульфидной матрицы, внутри кристаллов клинопироксена.

На СЭМ было получено около 200 спектров сульфидов и построена треугольная диаграмма их состава (рис. 1). Среди сульфидных зерен описаны халькопирит, пирротин и пентландит, часто зерна имеют неоднородное строение, при котором разные фазы присутствуют в пределах одного зерна, что говорит о достаточно быстрой раскристаллизации сульфидного расплава в процессе остывания. В меньшем количестве встречается борнит, также часто в смеси с халькопиритом.

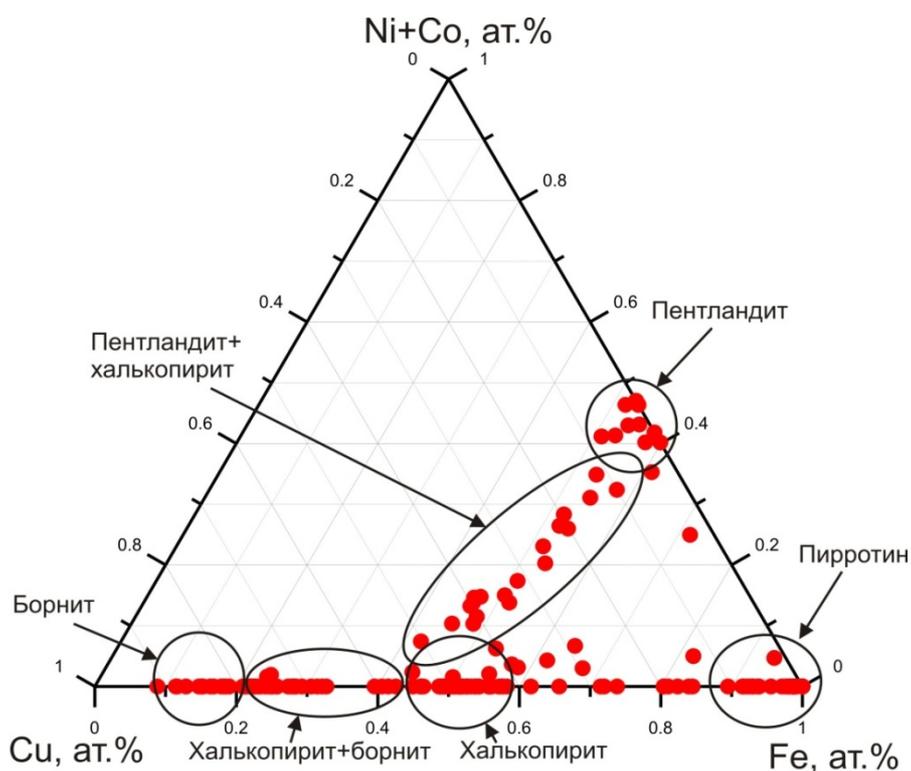


Рис. 1. Треугольная диаграмма состава сульфидов из оливиновых клинопироксенитов.

В двух дюймовых шашках, изготовленных из одного образца, при исследовании на СЭМ было обнаружено 25 микровключений (наггетов) интерметаллидов и платиноидов, их обобщенный состав показан в таблице:

**Таблица. Состав микровключений в оливиновых клинопироксенитах**

№	Состав	Количество микровключений	Максимальный размер (мкм)
1	Pd+Pt+Cu(+/-Ag)	5	4
2	Pd	4	1
3	Pt (+/-Te)	2	4
4	Pd+Te	1	2
5	Pd+Ge	1	< 1
6	Pd+Bi+Cu+Fe	1	< 1
7	Pd+Hg (+/-Cu,Ag,Ge)	6	2
8	Pd+Hg+Te (+/-Ag)	3	2
9	Pd+Cu+Pt+Te+Hg	1	4
10	Te+Pt+Bi+Rh+Fe	1	2

Размер выделений интерметаллидов в сульфидах не позволяет получить точные данные об их составе, в анализ захватывается вмещающий сульфид. Для определения состава микровключений из измеренных спектров были вычтены измеренные значения S, Fe, Cu, иногда Ni вмещающих сульфидов. При вычете сульфидной составляющей матрицы получилось, что 10 из 25 включений (наггетов) имеют состав интерметаллидов, в них Cu и реже Fe находятся в сплаве с платиноидами. Практически во всех микровключениях присутствует палладий, являясь основным и преобладающим в них платиноидом по встречаемости и концентрациям. Содержание палладия колеблется от 1 до 10 вес.% в большей части всех включений и от 10 до 45 вес.% в семи из них.

Ртуть встречается в 11 включениях и всегда находится вместе с палладием: в 6 включениях примерно в равных количествах (в атомных %), и в 4 включениях Pd преобладает. Это позволяет предположить для наггетов, где Pd/Hg~1, присутствие минерала потарита (PdHg). Однако полной уверенности в этом нет, поскольку размер включений не позволяет сделать анализ без захвата вмещающего сульфида.

Платина встречается в трети включений. Большинство включений с Pt содержат Pd, Te, Hg. Одно из включений является интерметаллидом состава Pt+Fe+Cu и еще одно – Pt+Te с примесью Fe, Bi и Rh. Содержания Pt в полученных на СЭМ анализах высокие, от 10-20 до 40-80 вес.%.

Встречается 5 различных микровключений с совместным нахождением Pd и Te, где Pd, как правило, преобладает. Один наггет размером 4 мкм имеет зональное строение, и в его пределах содержания Te и Pd варьируют, но с постоянным превышением Pd над Te на 7-12 ат.% (Рис. 2). Это может означать, что Pd и Te в этом включении находятся в одной минеральной фазе, наряду с которой присутствует чистый Pd в постоянном количестве, который и дает превышение. Данное включение является интерметаллидом, в котором Cu – преобладающий металл, при этом медь отсутствует во вмещающем сульфиде. В некоторых наггетах сложного состава встречаются примесные содержания Ag и Bi. В паре включений Pd присутствует примесь Ge.

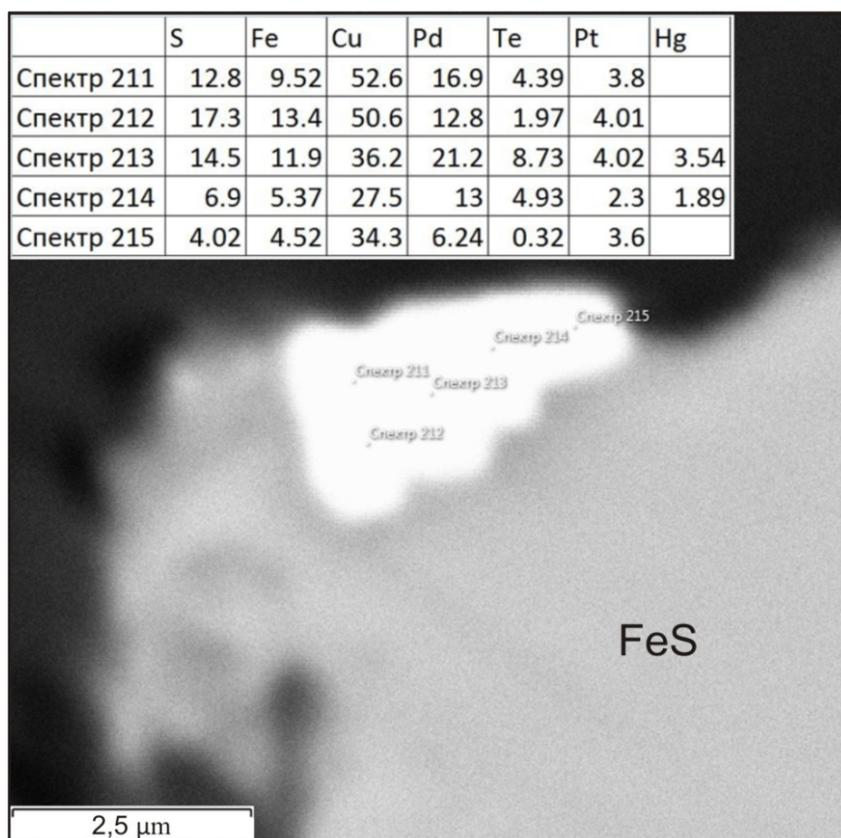


Рис. 2. Зерно интерметаллида сложного состава. Значения в таблице приведены в атомных %.

Состав микровключений, обогащенных ЭПГ, достаточно разнообразный, но в целом его можно охарактеризовать соотношением  $Pd > Hg > Pt > Te$ . Наиболее часто встречаются включения состава  $Pd + Hg \pm Te$ . Pt встречается реже, но в более высоких концентрациях.

Находки микровключений в оливиновых пироксенитах, обогащенных ЭПГ, имеют сложный многокомпонентный состав, значительно варьирующий от одного включения к другому. Они хорошо согласуются по составу с ранее описанными в этих породах аналогичными микровключениями [6], особенно по элементам с наиболее высокими концентрациями, такими как Pd, Hg, Pt и Te. Очень интересен факт сходства набора платиноидов в изученных микровключениях из клинопироксенитов с платиноидами в микровключениях в сульфидах из плагиоклазовых пикритов [6]. Эти же платиноиды (Pt+Pd) найдены во включениях в самородной меди в шлиховых пробах, отобранных в пределах массива г. Солдатской [4]. Возможно, самородная медь образовалась при вторичных изменениях медных сульфидов во время серпентинизации и выветривания вмещающих пород, а состав платиноидов был унаследован от микровключений в сульфидах. Состав вмещающих сульфидов в изученных клинопироксенитах и плагиоклазовых пикритах также очень близок. Это может отражать единство мантийных источников для различных частей офиолитового комплекса. В то же время примесные элементы в наггетах интерметаллидов в двух этих породах различны, это может быть связано с различием в эволюции магматического расплава.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00546.

#### Список литературы

1. Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г., и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист 0-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2007. 226 с. + 2 вкл.
2. Новаков Р.М., Иванов В.В., Трухин Ю.П., и др. Медно-никелевая и благороднометаллическая минерализация в оливиновых вебстеритах п-ова Камчатский Мыс (Камчатка) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2015. Вып.4. С. 83-97.
3. Савельев Д.П. Плагиоклазовые пикриты п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2014. № 4. С. 43-53.
4. Савельев Д.П., Философова Т.М. Аваруит из шлиховых проб бассейна р. Белой (гипербазитовый массив г. Солдатской, п-ов Камчатский Мыс) // Материалы XX региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 204-206.
5. Савельев Д.П., Философова Т.М. Магматические сульфиды в пикритах п-ова Камчатский Мыс // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 120-126.
6. Савельев Д.П., Философова Т.М. Микровключения минералов ЭПГ и золота в породах офиолитового комплекса п-ова Камчатский Мыс // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 2 (Выпуск 34). С. 5-13.
7. Хотин М.Ю., Шатира М.Н. Офиолиты Камчатского Мыса (Восточная Камчатка): строение, состав, геодинамические условия формирования // Геотектоника. 2006. № 4. С. 61-89.