МИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ Os-Ir-Ru СОСТАВА И СУЛЬФИДОВ ЭПГ В Pt-Fe ИНТЕРМЕТАЛЛИДАХ ИЗ РОССЫПЕЙ, СВЯЗАННЫХ С КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВЫМИ МАССИВАМИ СРЕДНЕГО УРАЛА

Паламарчук Р.С., Степанов С.Ю., Козлов А.В.

Санкт-Петербургский горный университет, palamarchuk22@yandex.ru

Введение

Уральский платиноносный пояс представляет собой цепочку клинопироксенит-дунитовых массивов, протянувшуюся вдоль Уральского хребта, с которыми связана серия россыпных систем. Несмотря на уникальность некоторых россыпных объектов, таких как Исовско-Туринская или Нижнетагильская россыпные системы, минералы платиновой группы (МПГ) из них изучены не достаточно полно. Для некоторых россыпных систем (Нясьминская, Вересовоборская, Исовско-Туринская и др.) последние крупные исследования были проведены Н.К. Высоцким в начале прошлого века [1].

Общей особенностью ассоциаций платиноидов из россыпей, связанных с клино-пироксенит-дунитовыми массивами является абсолютное преобладание Pt-Fe твердых растворов: самородной платины, изоферроплатины (Pt_3Fe), железистой платины (Pt_2Fe), а также минералов изоморфного ряда тетраферроплатина ($PtFe$) – туламинит (Pt_2FeCu) – никельферроплатина (Pt_2FeNi). Они слагают индивиды и агрегаты, которые иногда содержат минеральные включения, представленные преимущественно минералами Os-Ir-Ru состава, а также сульфидами ЭПГ изоморфных рядов лаурит–эрликманит (RuS_2 – OsS_2) и кашинит–бауит (Ir_2S_3 – Rh_2S_3). Цель данной работы – описание морфологических особенностей и характеристика состава таких минеральных включений.

Образцы и методы исследования

За 2015-2016 гг. были опробованы россыпи, связанные с клинопироксенит-дунитовыми массивами Среднего Урала: Нижнетагильским, Светлоборским, Вересовоборским и Каменушенским. Материал был взят из 10 точек опробования. Пробы были промыты на лотке. Из полученного шлиха платиноиды были извлечены «методом» отдувки. Морфологические особенности были исследованы с помощью методов растровой электронной микроскопии с использованием микроскопов: CamScan MX2500 (ФГБУ «ВСЕГЕИ», аналитик А.В. Антонов) и CamScan MV2300 (Институт экспериментальной минералогии РАН, аналитик Д.А. Варламов). Химический состав определен с помощью рентгено-спектрального микроанализатора Camebax SX50 со сволновыми детекторами (МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, аналитик Д.А. Ханин).

Минералы Os-Ir-Ru состава

Среди включений данного состава явно преобладает иридий-осмий. Почти всегда он образует отдельные, идиоморфные кристаллы пинакоидального габитуса размером до 0.2 мм (рис. 1, а). Пластинки иридий-осмия часто сохраняют свой идиоморфизмный облик, находясь на поверхности Pt-Fe агрегатов, что связано с более высокой устойчивостью осмия к механическому истиранию по сравнению с окружающими его минералами (Pt-Fe, хромшпинелиды, оливин и др.).

Включения кристаллов иридий-осмия и хромшпинелидов в изоферроплатине могут соприкасаться собственными гранями (рис. 1, б) или кристаллы иридий-осмия проявляют больший идиоморфизм по отношению к хромшпинели, образуя включения непосредственно в хромшпинелиде (рис. 1, г). Встречаются зональные зерна хромшпинелидов, внешние, обогащенные железом зоны которых обрастают пластинками иридий-осмия (рис. 1, в). На границах между иридий-осмием и хромшпинелидом отмечаются тонкие прожилки осмистого иридия.

Состав иридий-осмия колеблется в широких пределах: от 51 до 96,6 ат. % Os, от 0 до 38 ат. % Ir и от 0 до 19 ат. % Ru. Содержание Rh может достигать 5 ат. %, при среднем количестве 0.9 ат. %. Содержание Pt, Pd обычно ниже пределов обнаружения. В большинстве своем кристаллы иридий-осмия однородны и не обладают ярко выраженной зональностью. Однако в россыпях, связанных с Каменушенским массивом, найдены зональные индивиды иридий-осмия (рис. 1, д), в которых зональность выражена сменой иридий-содержащего осмия с примесями Ru до 7 ат. % и Rh до 1 ат. % на минералы со значительным количеством Ru (до 21 ат. %) и большим содержанием Rh (до 3 ат. %).

Рис. 1. Включения иристого осмия (Os) в Pt-Fe агрегатах из россыпей Каменушенского (а-в, д-е) и Вересовоборского (г) массивов. Pt₃Fe – изоферроплатина, Chr – хромшпинелид, Ir – иридий, Ir,Ru – близ рутениридосмин, Bou – баутит. СЭМ-фотографии в режиме BSE.

Распространенность иристого осмия в различных россыпных системах резко отличается (рис. 2). В россыпях Каменушенского массива он может составлять до 50 % от Pt-Fe агрегата (см. рис. 1, е), тогда как в Нижнетагильских россыпях иристый осмий встречается редко. Россыпная система Светлоборского массива характеризуется его более широким распространением, но ощутимо меньшим, чем в исследованных Каменушенских россыпях. Распространенность иристого осмия может отличаться и в россыпях, связанных с одним коренным источником. Так, платиноиды из россыпи р. Простакишенка, располагающейся на западном склоне Вересовоборского массива, характеризуются единичными включениями иристого осмия, а в Pt-Fe минералах из россыпи р. Вересовка, расположенной на севере массива, его включения многочисленны.

Среди минеральных включений также встречается осмистый иридий. Он образует как минимум 4 морфологические разновидности. Наиболее широко встречается осмистый иридий как результат распада Pt-Fe-Ir твердого раствора. Он может образовывать пластинчатую или эмульсион-

Рис. 2. Составы и относительная распространенность минералов Os-Ir-Ru состава (а) и сульфидов ЭПГ (б, в). N – количество анализов минеральных включений в Pt-Fe интерметаллидах из россыпей связанных с Каменушенским (1)/Вересовоборским (2)/Светлоборским (3)/Нижнетагильским (4) клинопироксенит-дунитовыми массивами. 5 – область несмесимости. Для б, в: N – сульфиды ЭПГ россыпей Каменушенского/Светлоборского массивов.

Рис. 3. Включения осмистого иридия в Pt-Fe минералах из россыпей, связанных с Нижнетагильским (а), Светлоборским (б, г, е) и Каменушенским (в, д) клинопироксенит-дунитовыми массивами. СЭМ-фотографии в режиме BSE.

ную вкрапленность (рис. 3, а, б). Осмистый иридий также встречается в виде самостоятельных обособлений с плавными границами (1-й морфологический тип, рис. 3, в, г). Размеры таких обособлений могут достигать 150 мкм. В некоторых образованиях осмистого иридия присутствует мелкая вкрапленность изоферроплатины (см. рис. 4, а), также результат распада твердого Pt-Fe-Ir раствора. В пространственной ассоциации с зональными кристаллами иридистого осмия, описанными выше, расположены обособления с резкими, извилистыми границами, представляющие 2-й морфологический тип осмистого иридия (см. рис. 1, д, 3, д). В единичном количестве, и только в россыпях, связанных со Светлоборским массивом были найдены крупные зерна осмистого иридия с массой до 12 г. Такие индивиды характеризуются срастанием с изоферроплатиной (рис. 3, е), при развитии индукционных и ксеноморфных поверхностей.

Состав осмистого иридия, также как и у иридистого осмия, колеблется в широких пределах (рис. 2, а). Количество Ru может достигать 21 ат. %. Основными примесными компонентами является Pt и Rh (до 8 ат. %). При анализе средних составов осмистого иридия двух морфологических типов отмечается полное соответствие по содержанию Os и Ru, и отличие по Ir и Rh. Согласно этим значениям, первый тип иридия является более Ir-Pt, второй – более Rh.

Как и иридистый осмий, осмистый иридий встречается в исследуемых россыпных системах в различном количестве. Так, для россыпей, связанных с Нижнетагильским и Вересовоборским массивами,

Рис. 4. Сульфиды ЭПГ в Pt-Fe минералах из россыпи Каменушенского массива.

вами отмечается только его эмульсионные выделения. В россыпях Каменушенского массива осмистый иридий встречается во всех возможных разновидностях в значительном количестве. Светлоборские россыпи отличаются находками крупных самородков осмистого иридия весом до 12 г.

При таком значительном отличие по распространенности, в целом, для иридий-осмиевых минералов из всех россыпных систем отмечается одинаково широкий диапазон колебаний их состава (см. рис. 2, а).

Сульфиды ЭПГ

Сульфиды ЭПГ представлены минералами изоморфных рядов лаурит-эрликманит и кашинит-бауит. Они встречаются значительно реже, чем включения Os-Ir-Ru состава.

В качестве включений в Pt-Fe минералах наиболее часто встречается лаурит, образуя индивиды со сложным ограничением и преобладанием прямолинейных граней (рис. 4, а) с размерами до 70 мкм. Он идиоморфен относительно иридия и изоферроплатины, при этом частично сростается с хромшпинелидом (рис. 4, б). Большинство индивидов лаурита зональны, что в общем случае выражается в увеличении эрликманитового минала от периферии к центру зерна.

Эрликманит встречается реже. Он образует крупные (до 110 мкм) индивиды с изометричным обликом с прямолинейными границами (рис. 4, в) и сложными кристаллографическими формами, либо может обладать более прямолинейными границами, по форме напоминающим гексагональную пластинку осмия.

Как и другие минеральные включения, лаурит и эрликманит характеризуются широкой вариацией составов вплоть до образования крайних членов изоморфного ряда (см. рис. 2, б, в).

Кашинит и бауит встречается в заметно подчиненном количестве. Они образуют мелкие зональные зерна распределенные равномерно по единичным Pt-Fe агрегатам (рис. 4, г).

Включения сульфидов ЭПГ распределены по россыпным системам еще более неравномерно, чем минералы Os-Ir-Ru состава. Так, в россыпях Нижнетагильского и Вересовоборского (за исключением россыпи р. Вересовка) массивов они встречаются в единичных зернах. Хотя в россыпях, связанных со Светлоборским и Каменушенским массивами, сульфиды ЭПГ встречаются в заметном количестве (рис. 3, б, в).

Закключение

Таким образом, исследованные россыпные системы различаются не только по особенностям ассоциаций Pt-Fe минералов [4], но и по ассоциациям минеральных включений в них. При сравнительном анализе полученных нами анализов с литературными данными по коренному хромит-платиновому оруденению клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала [2; 3; 5] в общем случае установлена идентичность ассоциаций минеральных включений в россыпи и коренном источнике. Присутствие сульфидов ЭПГ во всех россыпных системах и резкое различие по распространенности говорит об одинаковом диапазоне фугитивности серы для всех массивов Среднего Урала, при первоначально разном ее количестве.

Авторы благодарны А.В. Антонову, Д.А. Ханину и Д.А. Варламову за проведенные аналитические работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00151\18.

Литература

1. Высоцкий Н.К. Платина и районы её добычи. Тр. КЕПС. Петроград. 1923. №№ 2-3. 343 с.
2. Пушкарёв Е.В., Аникина Е.В., Гарути Дж., Заккарины Ф. Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: Структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса. Литосфера. 2007 № 3. 28-65 С.
3. Степанов С.Ю., Малич К.Н., Козлов А.В., Баданина И.Ю., Антонов А.В. Платиноидная минерализация Светлоборского и Вересовоборского клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала (Россия). Геология рудных месторождений. Москва: Наука. 2017. № 3. Т. 59. С. 238-250.
4. Palamarchuk R.S. Stepanov S.Yu. Characteristics of platinum placers associated with Uralian-Alaskan complex in Middle Urals // Abstract volume XI L.L. Perchuk International School of Earth Sciences. Miass, 2017. P. 35-37.
5. Tolstykh N.D., Telegin Yu.M., Kozlov A.P. Platinum mineralization of the Svetloborsky and Kamenushinsky massifs (Urals Platinum Belt). Russian Geology and Geophysics. 2011. V. 52, P. 603-619.