

**ПЛАТИНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
СВЕТЛОБОРСКОГО И КАМЕНУШИНСКОГО МАССИВОВ
ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА**

Толстых Н.Д.*, Телегин Ю.М., Чубаров В.М.*****

**Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия*

e-mail: tolst@uiggm.nsc.ru

***ЗАО «Урал-МПГ», Екатеринбург, Россия*

e-mail: yuritelegin@mail.ru, kosva@inbox.ru

****Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия*

e-mail: mineral@kscnet.ru

**PLATINUM MINERALIZATION OF SVETLOBORSKY
AND KAMENUSHINSKY INTRUSIONS OF URALS PLATINUM BELT**

Tolstykh N.D.*, Telegin Yu.M., Chubarov V.M.*****

**Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

e-mail: tolst@uiggm.nsc.ru

***CJSC «Urals-PGM», Ekaterinburg, Russia*

e-mail: yuritelegin@mail.ru, kosva@inbox.ru

****Institute of Vulcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia*

e-mail: mineral@kscnet.ru

Data presented in this paper represent the results of research of PGM minerals and their associations of new platinum occurrences discovered within Svetloborsky and Kamenushinsky pyroxenite-dunite intrusions of Urals-Alaskan type (Middle Urals). Platinum mineralization of Svetloborsky intrusion is located within dunite in relationship with the zones of alteration. Platinum mineralization of Kamenushinsky intrusion is related to chromitite veins. Pt-Fe compounds with elevated iron content and association with osmium (almost pure osmium) are typical for Svetloborsky mineralization. Whereas Kamenushinsky mineralization consists of isoferroplatinum with inclusions of Ir-rich osmium as well as isoferroplatinum-iridium association. There were several stages in the process of formation of platinum mineralization. Primary magmatic (cumulus) dunite PGM associations were supplemented and redistributed subsequently under influence of post-magmatic fluids and hydrothermal solutions with further location within serpentinite stringers in association with magnetite, Pt-oxide, and other secondary low-temperature minerals.

В работе приводятся результаты исследования минералов элементов платиновой группы (МПГ) из новых рудопроявлений платины, полученные в ходе проведения поисковых работ ЗАО «Урал-МПГ». Выявлены минералогические особенности платиновой минерализации в Светлоборском и Каменушинском клинопироксенит-дунитовых массивах (Урало-Аляскинский тип), входящих в состав платиноносного пояса Урала [1] и с которыми связаны крупнейшие в мире россыпи платины. Светлоборский массив имеет площадь 20 км². Большую часть массива слагают дуниты (14 км²).

В дунитах наблюдаются многочисленные дайки клинопироксенитов, горнблендитов и иситов. Широко распространены связанные дайками вторичные изменения дунитов. В пределах одного из таких участков концентрации даек и измененных пород, в юго-западной части массива на контакте с клинопироксенитовой каймой, была выявлена линейная зона платиновой минерализации мощностью до 10 м, протяженностью около 1 км, которая локализуется в измененных дунитах (метасоматические образования серпентина, хлорита, флогопита) и не связана с концентрациями хромита. В Каменушинском массиве (22 км²) дунитовое ядро (6,5 км²), окруженное оторочкой преобладающих по площади клинопироксенитов включает в себя немногочисленные дайки клинопироксенитов и микрогаббро. Вторичные изменения проявлены слабо. В дунитах центральной части Каменушинского массива были выявлены единичные маломощные (10-20 см)

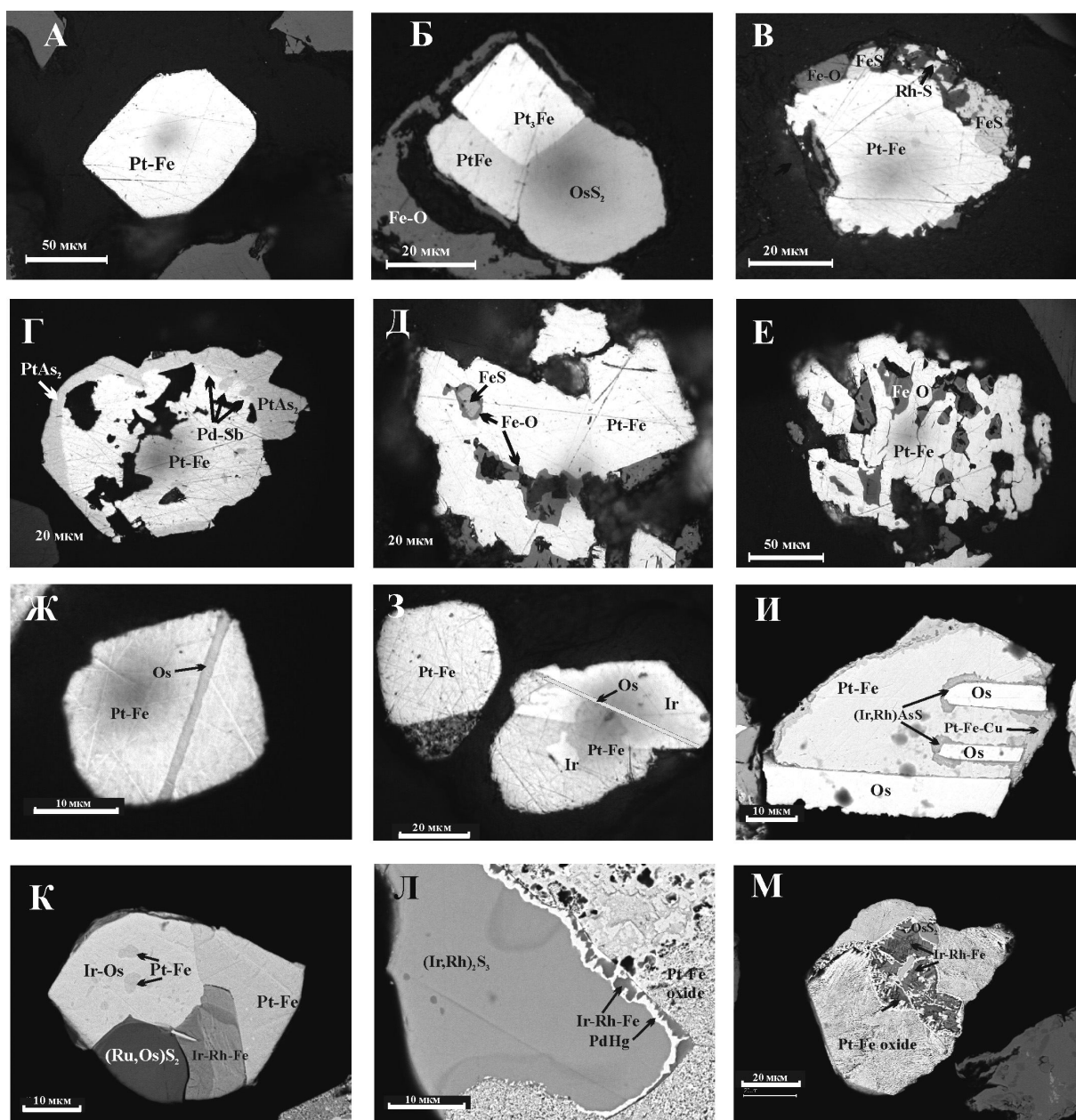


Рис. 1. Микрофотографии SEM зерен МПГ.

А-Е из Светлорборского массива, *Ж-М* из Каменушинского массива. *А* – Морфология выделения платиновых зерен. *Б* – Парагенезис МПГ в окружении магнетитовой каймы. *В* – Магнетит-пирротиновая кайма по *Pt-Fe* с включениями *Rh-S*. *Г* – Сперрилитовая кайма по *Pt-Fe* с включениями *Pd-Sb*. *Д-Е* – *Pt-Fe* в ассоциации с магнетитом с реликтами пирротина. *Ж* – Кристалл *Pt-Fe* с включением осмия. *З* – 3-х фазный парагенезис осмий-изоферроплатино-иридиевый. *И* – Замещение платины туламинитом по краю зерна и выделение ирарсита на контакте платины и осмия. *К* – Изоферроплатино-иридиевый парагенезис в ассоциации с лауритом и вторичной *Ir-Rh-Fe* фазой, образованной по баоиту-кашиниту. *Л-М* – Замещение баота-кашинита в сростании с оксидом платины.

жилы протяженностью до 2 м и сегрегации хромитита и хроммагнетита, к которым непосредственно приурочена платиновая минерализация. Для изучения минеральных ассоциаций МПГ и типоморфных особенностей минералов, образцы были отобраны из минерализованной зоны Светлорборского массива и хроммагнетитовой жилы Каменушинского массива (около 2000 зерен МПГ).

МПГ из дунитов Светлорборского и хромититов Каменушинского массива являются типичными представителями минеральных ассоциаций, связанных с источниками Урало-Аляскинского типа. К типоморфным признакам, объединяющим оба массива в единый формационный тип, от-

Таблица

**Характерные черты минеральных парагенезисов и их вторичных преобразований
 в рудах Светлоборского и Каменушинского массивов**

Характерные признаки	Светлоборский массив	Каменушинский массив
Состав Pt-Fe сплавов	Fe – 24-36 ат. %	Fe – 24-26 ат. %
Ассоциация Pt-Fe	В дунитах, часто с магнетитом	В хромититах
Состав Os-Ir-Ru	Осмий с min примесью Ir , единичные проявления иридия	Осмий с примесью Ir до 40 ат.%, иридий с max конц. Pt
Магматические парагенезисы	Изоферроплатино-осмиевый; изоферроплатино-иридиевый (редко); OsS ₂	Изоферроплатино-осмиевый; изоферроплатино-иридиевый, (оба распространены); от RuS ₂ до OsS ₂ , весь ряд
Постмагматическая сульфидно-арсенидная минерализация	1. Сперрилит замещает Pt-Fe 2. Холлингвортит-ирарсит: мелкие включения; 3. бауит мелкие включения в магнетите; 4. PdHg в бауите или туламините; 5. Pd-Sb включения в Pt-Fe; 6. IrSbS-RhSbS 7. (Pd,Cu) ₃ Sb	1. Сперрилит отдельные зерна 2. Холлингвортит-ирарсит: структуры распада со сперрилитом и каймы по Pt-Fe вместе с туламинитом; 3. бауит включения в Pt-Fe; 4. PdHg с бауитом; 6. IrSbS-RhSbS
Замещение Pt-Fe	Тетраферроплатина-туламинит с преобладанием Pt ₂ CuFe	Тетраферроплатина-туламинит с преобладанием PtFe
Низкотемпературная ассоциация, связанная с десульфуризацией ранних ассоциаций	Ir-Rh-Fe по (Rh,Ir) ₂ S ₃ Os-Ru-Fe-Rh-Ni по OsS ₂ Ir-Pt-Ru-(Fe,Cu,Ni) по ? Fe-(Ir,Pt) по Pt-Fe-Ir структуре распада	Ir-Rh-Fe (Fe ₂ IrRh) по (Rh,Ir) ₂ S ₃
Низкотемпературная минерализация	Fe фаза. Магнетит, гематит (?) по Fe-S	Оксиды Pt и Fe по Pt-Fe

носятся: (1) преобладание Pt-Fe сплавов над другими МПГ; (2) включения Os-Ir сплавов в Pt-Fe матрице с типичными составами в виде осмиевого тренда; (3) включения сульфидов серий лаурит-эрликманит, бауит-кашинит, а также сперрилита и сульфоарсенидов ЭПГ; (4) наличие двух равновесных парагенезисов изоферроплатино-осмиевого (включения осмия в Pt-Fe сплавах) и изоферроплатино-иридиевого (структура распада между этими минералами); (5) замещение магматических сплавов наложенными минералами ряда тетраферроплатина-туламинит и вторичными соединениями, аналогичными гексаферруму; (6) в обеих ассоциациях преобладающим морфологическим типом Pt-Fe сплавов является кубическая форма кристаллов размерами, преимущественно 30-70 мкм (рис. 1 А,Ж). Морфология зерен Pt-Fe сплавов свидетельствует, что большая их часть в обоих массивах образовывалась одновременно с кристаллизацией оливина и ранее (или совместно) хромита. Тогда как для большинства представителей этой формации (Гальмознанский массив в Корякии, Инагли на Алданском щите) и др. характерны ксеноморфные формы изоферроплатины, обусловленные ее расположением в межзерновом пространстве хромитовых зерен.

Несмотря на значительное сходство типоморфных признаков минеральных ассоциаций можно отметить специфические особенности каждой из ассоциаций (табл. 1), обусловленные различными физико-химическими условиями образования. Во-первых, это касается состава Pt-Fe сплавов. Если для Светлоборского массива наряду с изоферроплатиной характерна также и железистая платина (Fe от 8.16 до 14.08; ср. 9.74), то в Каменушинском массиве обнаружена преимущественно, изоферроплатина Pt₃Fe (Fe от 8.02 до 10.29; ср. 8.78). Это свидетельствует о том, что изоферроплатина из хромититов Каменушинского массива формировалась при относительно более высокой fO₂ по сравнению с Pt-Fe сплавами из дунитов Светлоборского массива [3]. Это согласуется с эволюцией рудоформирующих систем комплексов Урало-Аляскинского типа, поскольку хромитовые руды по отношению к дунитам являются более поздними образованиями, сформированными при более высокой фугитивности кислорода, с которыми связан хроми-

товый рудноформационный тип платиновой минерализации. Обогащенные железом Pt-Fe сплавы в парагенезисе с осмием отмечались также в мелкозернистых дунитах Гальмоэнанского массива в Корьякии [2] и в Нижнетагильском массиве на Урале, где этот парагенезис назван дунитовым субтипом. Кроме того, для минеральной ассоциации из дунитов Светлоборского массива характерны кристаллы «высокопробного» осмия с минимальным содержанием Ir и Ru, тогда как в Каменушинском массиве осмий содержит до 40 ат.% Ir. Это также согласуется с эволюцией рудоформирующих систем в комплексах Урало-Аляскинского типа, когда ранние кристаллы беспримесного осмия в дунитах последовательно сменяются на более поздних стадиях кристаллизации хромита обогащенными Ir кристаллами осмия [5]. В обоих массивах встречаются два первично-магматических парагенезиса ранний изоферроплатино-осмиевый и более поздний изоферроплатино-иридиевый, но последний более распространен в хромитовых жилах Каменушинского массива (рис. 1 З). К магматическим парагенезисам относятся также сульфиды Ru и Os (лаурит-эрликманит), обнаруженные в обоих рудопроявлениях (рис. 1 Б,К), развитие которых зависит от fS_0 в магматическом процессе [4]. В хромититах Каменушинского массива характерно широкое проявление этих сульфидов, составы которых формируют полный изоморфный ряд, что указывает на более высокую активность серы в рудообразующем процессе магматического этапа.

Преобразование первичной ЭПГ минерализации на массивах Урало-Аляскинского типа связано как с поздне- или постмагматическими флюидами, содержащими S, As, реже Sb, Te и Bi, иногда Hg и легкоплавкие платиноиды Pd, Rh, так и с серпентинизирующими растворами, несущими Fe и Cu. Различные варианты преобразований более ранних МПГ имели место в дунитах Светлоборского и в хромититах Каменушинского массивов (табл. 1; рис. 1 Г,Л,И). Их сопоставление показало, что в Светлоборском массиве распространены вторичные минералы, обогащенные Fe: магнетит по пирротину (рис. 1 Б,В,Д,Е), а также аналоги гексаферрума широкого спектра составов, образованные по различным сульфидам ЭПГ. В Каменушинском массиве обнаружен единственный аналог гексаферрума Ir-Rh-Fe состава, образованный по минералам ряда баоит-кашинит (рис. 1 К,Л,М). Существенное отличие проявления наиболее позднего процесса окисления руд заключается в том, что платина Светлоборского массива ассоциирует с вторичными железистыми фазами, магнетитом и другими, которые образовались из Fe-насыщенных растворов. Тогда как платина Каменушинского массива, находящаяся непосредственно в хромититах, сама подвергалась окислению с образованием колломорфных текстур зерен.

Сопоставляя минеральные парагенезисы ЭПГ из коренных руд обоих массивов, можно сказать, что и дуниты и хромититы являются платиноносными. Поскольку дуниты Светлоборского массива являются более ранними образованиями, то минеральные парагенезисы в них отвечают раннему этапу развития рудоформирующей системы комплексов Урало-Аляскинского типа в целом. МПГ из хромититов Каменушинского массива отражают позднемагматический этап формирования платиновых руд. В этом же направлении увеличивается иридиевая составляющая минеральных ассоциаций. Наложенные процессы отвечают за перераспределение форм концентрирования платиновых металлов и локализацию многочисленных новых минеральных (часто неравновесных) парагенезисов в пределах зон развития серпентинизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1997. 488 с.
2. Назимова Ю.В., Зайцев В.П., Мочалов А.Г. Минералы платиновой группы габбро-пироксенит-дунитового массива Гальмоэнан южной части Корьякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 6. С. 547-565.
3. Amosse J., Dable P., Allibert M. Thermochemical behaviour of Pt, Ir, Rh, and Ru vs fO_2 and fS_2 in a basaltic melt. Implications for the differentiation and precipitation of these elements // Mineralogy and Petrology. 2000. V. 68. P. 29-62.
4. Johan Z., Ohnenstetter M., Slansky E., Barron L.M., Suppel D. Platinum mineralization in the Alaskan-type intrusive complexes near Fifield, New South Wales, Australia Part 1. Platinum-group minerals in clinopyroxenites of the Kelvin Grove prospect, Owendale intrusion // Mineralogy and Petrology. 1989. V. 40. P. 289-309.
5. Tolstykh N., Sidorov E., Krivenko A. Platinum group element placers associated with Ural-Alaska type complexes // J. Mungall (Ed.). Exploration for Platinum-Group Element Deposits. Short Course Series. Canada: Mineralogical Association Publ. 2005. V. 35. Chapter 6. P. 113-143.