УДК 549.27; 549.02

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ИЗ ЭЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЮВИАЛЬНОЙ РОССЫПИ И ХРОМИТИТОВ СВЕТЛОБОРСКОГО КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Р.С. Паламарчук¹, С.Ю. Степанов¹, Д.А. Ханин², А.В. Антонов³, А.А. Золотарёв⁴

¹Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург; palamarchuk22@yandex.ru ²Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка ³ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург ⁴Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

COMPARISON OF PLATINUM GROUP MINERALS FROM ELUVIAL-DELUVIAL PLACER OF THE SVETLY BOR CLYNOPIROXENITE-DUNITE MASSIF (CENTRAL URALS)

R.S. Palamarchuk¹, S.Yu. Stepanov¹, D.A. Khanin², A.V. Antonov³, A.A. Zolotarev⁴

¹Saint-Petersburg Mining University, St-Petersburg; palamarchuk22@yandex.ru ²Institute of Experimental Mineralogy, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka ³Karpinsky Russian Geological Research Institute, St-Petersburg ⁴Saint-Petersburg University, St-Petersburg

Исследованы морфология и состав минералов платиновой группы (МПГ) из рыхлых отложений элювиально-делювиальной платиноносной россыпи Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива. Установлено совпадение контуров россыпной минерализации и площади развития коренных платиноносных хромититов. Исходя из особенностей составов МПГ, россыпь была отнесена к иридисто-платиновому минералого-геохимическому типу. Показано, что россыпные МПГ наследуют морфологические признаки минералов коренного источника, а составы россыпной и коренной ассоциаций платиноидов идентичны.

Илл. 7. Табл. 2. Библ. 34.

Ключевые слова: платина, элювиально-делювиальная россыпь, Светлоборский массив, изоферроплатина, иридий, лаурит.

Morphology and composition of platinum group minerals (PGMs) from loose sediments of eluvial-deluvial placer of the Svetly Bor clinopyroxenite-dunite massif are studied. The contours of placer mineralization and area of occurrence of primary Pt-bearing chromitites are similar. Based on the features of PGM composition, the placer belongs to Ir–Pt mineralogical-geochemical type. It is shown that placer PGMs inherit primary morphological features and the composition of placer and primary PGM assemblages are identical.

Figures 7. Tables 2. References 34.

Key words: platinum, eluvial-deluvial placer, Svetly Bor massif, isoferroplatinum, iridium, laurite.

Введение

Уральский Платиноносный пояс с уникальными россыпями платиноидов до начала XX века был единственным источником платиноидов в нашей стране. Почти за 200 лет истории освоения уральских платиновых россыпей (Мосин, 2000) было открыто единственное коренное месторождение платины на горе Соловьевой Нижнетагильского массива (Заварицкий, 1928), запасы для которого были подсчитаны в 1951 г.С.А. Махановым (в рукописном отчёте). С начала XX века после фундаментальных исследований А.М. Зайцева (1898), Н.К. Высоцкого (1923), А.Г. Бетехтина (1935) и более поздних работ (Лазаренков и др., 1992; Иванов, 1997; Малич, Баданина, 2015; Степанов и др., 2015; и др.) однозначно установлено, что коренными источниками для формирования уникальных уральских платиновых россыпей служили дунитовые тела из комплексов дунит-клинопироксенит-габбровой формации. Однако, несмотря на такую длительную историю исследования объектов Уральского Платиноносного пояса, значительное количество россыпей изучены недостаточно. Например, за последние два десятилетия лишь единичные работы были посвящены минералам из платиноносных россыпей, связанных с дунитовыми массивами Урала, при этом изучался преимущественно материал из аллювиальных и ложковых россыпей (Генкин, 1997; Auge et al., 2005; Баранников, Осовецкий, 2014; Степанов и др., 2015; Малич, Баданина, 2015). Настоящая статья направлена на описание морфологических особенностей и состава минералов платиновой группы (МПГ) элювиально-делювиальной россыпи, а также на анализ изменения этих характеристик при переходе минералов от коренного хромит-платинового оруденения в элювиально-делювиальную россыпь. В качестве примера такой системы выбрана элювиально-делювиальная россыпь разведочного участка «Вершинный», непосредственно связанная с одноимённой коренной хромит-платиновой рудной зоной Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива, впервые описанной в 2014 году (Степанов, 2014).

Методы исследования

В 2013 году в процессе разведочных работ ЗАО «Урал-МПГ» по коренной платине на Светлоборском клинопироксенит-дунитовом массиве была проведена шлиховая съёмка по сетке 40×20 м. Отобранные пробы объёмом 20 л, представленные глинисто-гравийно-песчаной смесью, были промыты до чёрного шлиха и, при необходимости, обогащены с помощью центробежного концентратора. После необходимых для проведения геологоразведочных работ исследований, шлиховые пробы были переданы нам главным геологом ЗАО «Урал-МПГ» А.В. Корнеевым для дальнейшего изучения. Из полученного шлиха зёрна МПГ извлекались методом «отдувки». Морфологические особенности МПГ изучены с помощью методов растровой электронной микроскопии с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) CamScan MX2500 (ФГБУ «ВСЕГЕИ», аналитик А.В. Антонов) с энергодисперсионным спектрометром Link Pentafet при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока зонда 0.5 нА. Химический состав платиноидов определён на рентгеноспектральном микроанализаторе Сатеbах SX50 (кафедра минералогии Геологического факультета МГУ, аналитик Д.А. Ханин) при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока зонда 30 нА. В качестве эталонов использовались металлы Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, CuSbS₂ (Sb, Cu), CoAsS (Co), NiS (Ni), FeS (Fe, S).

Согласно классификации, Л. Кабри и К. Фезера (Cabri, Feather, 1975), в системе Pt-Fe известны четыре минерала: самородная платина, железистая платина, изоферроплатина и тетраферроплатина, отличающиеся по составу и структуре. Однако Pt-Fe твёрдый раствор, близкий по составу к Pt,Fe, может быть, как железистой платиной, так и изоферроплатиной. Для однозначного определения минерала с формулой близкой к Pt, Fe, нами проведён рентгенофазовый качественный анализ методом Гандольфи с использованием монокристального дифрактометра Rigaku R-AXIS RAPID II (СоКα-излучение) с последующей обработкой данных в программном комплексе PDXL-2 (ресурсный центр РДМИ Научного парка СПБГУ, аналитик А.А. Золотарёв).

Геологическое строение территории

Светлоборский массив расположен в Свердловской области на Среднем Урале. Он относится к позднеордовикскому качканарскому дунит-клинопироксенит-габбровому комплексу (Государственная.., 2001). Как и другие объекты дунитклинопироксенит-габбровой формации на Урале, Светлоборский массив расположен в Тагило-Магнитогорской мегазоне (рис. 1а), в 15 км к востоку от Главного Уральского разлома. Массив является тектоническим отторженцем, залегающим в силурийских метабазальтах выйской свиты (Государственная.., 2001).

Геологическое строение Светлоборского массива является типовым для зональных клинопироксенит-дунитовых массивов (см. рис. 1б): выделяется дунитовое ядро, сложенное тонко-, мелко- и среднезернистыми дунитами, а также непостоян-



Рис. 1. Местонахождение Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива (*a*) (по: Гурская, 1997) и схема его строения (*б*) (по: Иванов, 1997, с упрощением).

1-центральное Уральское поднятие; 2-палеозойские образования Уральской складчатой системы; 3-осадочный чехол Западно-Сибирской платформы; 4 – массивы Платиноносного пояса Урала; 5 – офиолитовые массивы Урала; 6 – положение Светлоборского массива; 7 – клинопироксенитовая кайма; 8, 9 – дуниты (8 – тонкозернистые, 9 – мелкозернистые); 10 – речные отложения; 11 – положение разведочного участка «Вершинный»; 12 – гидросеть; 13 – изогипсы рельефа.

Fig. 1. Location of the Svetly Bor clinopyroxenite-dunite massif (*a*) (after Gurskaya, 1997) and scheme of its structure (δ) (after Ivanov, 1997).

1 – Central Uralian Uplift; 2 – Paleozoic rocks of the Uralian fold belt; 3 – sedimentary cover of the West Siberian Platform; 4 – massifs of Uralian Platinum Belt; 5 – ophiolite massifs; 6 – position of the Svetly Bor massif; 7 – clinopyroxenite rim; 8, 9 – dunites (8 – fine-grained, 9 – small-grained); 10 – alluvial; 11 – position of Vershinny exploration area; 12 – rivers; 13 – relief isohypses.

ная по мощности клинопироксенитовая кайма. Породы массива дренированы р. Ис на севере и притоками р. Косья на юге. Все лога и долины рек в разной степени платиноносны.

В юго-западной части массива располагается разведочный участок «Вершинный» (рис. 2а). Первоначально он был оконтурен по литогеохимической аномалии, полученной в результате поисковых работ под руководством Ю.М. Телегина (Телегин и др., 2009). Участок представляет собой возвышенность с двумя вершинами, длинной осью, ориентированной на северо-восток, с её склонами, спускающимися соответственно на северо-запад, север, восток и юго-восток. Вершины расположены в центральной и юго-западной частях территории, с небольшим логом между ними. Амплитуда высот в пределах разведочного участка не превышает 50 м.

среднезернистые и мелкозернистые дуниты (см. рис. 26). Область перехода от среднезернистых к мелкозернистым дунитам, представляющая собой фациальный контакт, ориентирована в меридиональном направлении. Обе разновидности дунитов серпентинизированы и в значительной степени выветрены. В области перехода между дунитами, отличающимися по зернистости, выделены зоны развития прожилково-вкрапленных и массивных хромититов (Степанов и др., 2017). Присутствие этих зон позволяет связать платиновую минерализацию элювиально-делювиальной россыпи с коренным хромит-платиновым оруденением. Коренные породы перекрыты современными отложениями мощностью до 2 м.

В качестве коренных пород в пределах рассма-

триваемой территории развиты преимущественно



Рис. 2. Расположение участка «Вершинный» (a), его геологическая карта со схемой шлихового опробования (δ), карта четвертичных отложений (e) и обобщённый разрез (c) (по материалам ЗАО «Урал-МПГ»).

1 – дуниты; 2 – пироксениты; 3 – вмещающие породы; 4 – участок «Вершинный»; 5–6 – дуниты: 5 – среднемелкозернистые; 6 – мелко-тонкозернистые; 7, 8 – зоны развития хромититов: 7 – массивных, 8 – прожилкововкрапленных; 9 – шлиховая аномалия платины (более 0.2 г/м³); 10 – профили шлиховой съёмки с точками отбора проб; 11–14 – отложения: 11 – элювиальные, 12 – элювиально-делювиальные, 13 – склоновые делювиальные, 14 – отложения временных потоков; 15–16 – дуниты: 15 – умеренно серпентинизированные, 16 – серпентенизированные, ожелезнённые, выветрелые; 17 – выветрелые серпентиниты с блоками дунитов; 18 – разведочные шурфы.

Fig. 2. Position of Vershinny exploration area (*a*), the geological map with scheme of heavy mineral sampling (δ), map of Quaternary sediments (*e*) and cross-section (*c*) after ZAO «Ural-PGM».

1 - dunites; 2 - clinopyroxenites; 3 - host rocks; 4 - Vershinny area; 5, 6 - dunites: 5 - medium- and small-grained; 6 - small- and fine-grained; 7, 8 - chromitite zones: 7 - massive, 8 - veined-disseminated; 9 - heavy mineral anomaly with Pt content of >0.2 g/m³; 10 - profiles of heavy mineral survey with sampling points; 11-14 - sediments: 11 - eluvial, 12 - eluvial-deluvial, 13 - deluvial, 14 - proluvial; 15, 16 - dunites: 15 - weakly serpentinized; 16 - serpentinized, oxidized, weathered; 17 - weathered serpentinites with dunite blocks; 18 - exploration shafts.

Современные нелитифицированные осадки, образующиеся при разрушении коренных пород - элювиальные, делювиальные и пролювиальные отложения. Элювиальные отложения представлены несортированными гравийно-песчаными смесями с относительно небольшим количеством глинистой составляющей. В таких отложениях зёрна МПГ распределены неравномерно. В процессе плоскостного смыва количество глинистой фракции увеличивается, размерность обломков дунита уменьшается, происходит слабая сортировка материала – образуются делювиальные отложения. МПГ в таких отложениях стремятся к нижней части разреза, однако в целом сортировка отложений остается слабой. Граница между элювиальными и делювиальными отложениями нечёткая, определялась по существенному содержанию глинистой составляющей в составе осадков. Это обусловило необходимость выделения промежуточной зоны, сложенной элювиально-делювиальными отложениями (см. рис. 2в). В ходе дальнейшего переноса материала, гравийно-песчано-глинистые смеси сортируются с образованием типовых разрезов ложковых россыпей (сверху–вниз): почвы (мощностью до 1м); глинистые отложения (до 1 м); небольшой прослой галечников; слой песков (20 см), в котором обычно концентрируются основное количество МПГ. Аналогичные разрезы были построены

для Нижнетагильских россыпей в начале прошлого века Н.К. Высоцким (1923). В качестве плотика во всех типах разрезов россыпей выступает выветрелый дунит.

Шлиховая съёмка на участке «Вершинный» была проведена в пределах выявленной ранее в элювиальных отложениях литохимической аномалии, повторяющей контуры хромит-платиновых рудных зон, с незначительным смещением по склону горы. По результатам шлиховой съёмки на разведочном участке была выделена шлиховая аномалия платины, оконтуренная по бортовому содержанию 0.2 г/м³.

Шлиховая аномалия обладает вытянутой U-образной формой (см. рис. 2в), где замкнутая часть ориентирована почти строго на юг. Общая меридиональная протяжённость аномалии почти 400 м при средней ширине 80 м. Восточная ветвь аномалии располагается почти строго над зоной распространения массивных хромититов, соответствуя долине между вершинами и огибая одну из них. В целом, граница площади аномалии повторяет контуры зоны с коренным хромит-платиновым оруденением, что позволяет предполагать концентрирование МПГ в этой части аномалии в ходе процессов выветривания хромититов. Западная ветвь аномалии и её замкнутая часть незначительно смещены (до 50 м по горизонтали) относительно положения зоны развития массивных хромититов вниз по склону. Эта ветвь проходит по 370 горизонтали и затем прослеживается на юг. Около 60 % общей площади аномалии располагается в элювиальных отложениях, 35 % - в элювиально-делювиальных, и лишь около 5 % площади аномалии приурочены к делювиальным отложениям. Повышенные концентрации МПГ в этой части шлиховой аномалии могут быть объяснены процессами концентрирования, связанными с началом сортировки обломочного материала. Часть шлиховой аномалии располагается выше закартированной зоны массивных хромититов, что даёт основания прогнозировать продолжение этой зоны на юго-запад.

К западу от разведочного участка «Вершинный» в краевой части дунитового ядра массива возле контакта с пироксенитами обрамления располагается участок «Высоцкого». Эта зона представляет собой линейный штокверк с интенсивно серпентинизированным дунитовым субстратом с многочисленными дайками, линзовидными телами, жилами пироксенитов, горнблендитов, иситов и интенсивно проявленными пневматолито-гидротермальными образованиями. Хромитовая вкрапленность убогая, без значительных скоплений. Платина локализуется непосредственно в оливинсерпентиновой матрице без пространственной связи с хромшпинелидами (Толстых и др., 2011).

Морфологические особенности МПГ

Большинство зёрен МПГ, отобранных в основном из элювиальных отложений (см. рис. 2в) имеют средний размер около 0.35 мм и обладают изометричным (см. рис. 3а) и, реже, удлинённым обликом (см. рис. 3б). Зёрна обычно утловатые, скруглённые их вершины и рёбра редки, на них преобладают ростовые поверхности – ростовая штриховка и плоскогранные поверхности, реже – зёрна частично окатаны (см. рис. 3в). Некоторые Pt-Fe минералы находятся в срастании с единичными зёрнами хромшпинелидов (см. рис. 3г). Часто наблюдаемая штриховка в большинстве случаев диагностируется нами как индукционная (см. рис. 3д, е), возникшая в процессе совместного роста Pt-Fe минералов и хромшпинелидов.

В индивидах и агрегатах Pt-Fe твёрдых растворов встречаются включения минералов Os-Ir-(Ru) состава, а также сульфиды элементов платиновой группы (ЭПГ) изоморфных рядов лаурит-эрликманит и кашинит-боуит. Среди включений преобладают близкие к идиоморфным гексагональные пластинки осмия (рис. 4а) с характерными удлинёнными сечениями в плоском срезе. Сульфиды ЭПГ встречаются достаточно широко (см. рис. 4б, в). Они образуют включения сложной формы, часто зональные в сечении. В качестве самостоятельных агрегатов в срастаниях с иридистой платиной присутствуют относительно крупные (до 0.3 мм) индивиды иридия, обладающие сложной формой с чередованием индукционных и ксеноморфных поверхностей (см. рис. 4г).

Рt-Fe минералы из хромититов участка «Вершинный» Светлоборского массива образуют как отдельные индивиды с хорошо развитыми плоскогранными поверхностями, вплоть до находок кубических кристаллов, так и зернистые агрегаты, «цементирующие» зёрна хромшпинелида (Степанов и др., 2017). В большинстве случаев контакт Pt-Fe минералов и хромшпинелидов представлен поверхностями совместного роста. Типичными являются идиоморфные гексагональные включе-



Рис. 3. Морфология зёрен изоферроплатины (серое).

а, б – индивиды с плоскогранными и индукционными поверхностями; *в*, *г* – сростки: *в* – с хромшпинелидом (Crsp) и лауритом (Lau), *г* – с хромшпинелидом; *д*, *е* – вид индукционных поверхностей (*д* – фрагмент образца 3*a*). BSE-фото.

Fig. 3. Morphology of isoferroplatinum grains (gray).

a, δ – individuals with flat and compromise growth surfaces; *e*, *z* – intergrowth: *e* – with chromites (Crsp) and laurite (Lau); *z* – with chromite; ∂ , *e* – view of the compromise growth surface (∂ – detail of sample 3*a*). BSE-photo.

Рис. 4. Минеральные включения в Pt-Fe твёрдых растворах (*cepoe*).

а – гексагональная пластинка осмия (Os); *б*, *в* – включения зонального лаурита (Lau); *г* – иридий (Ir) в срастании с иридистой ферроплатиной (Pt,Fe, Ir). BSE-фото.

Fig. 4. Mineral inclusions of Pt-Fe solid solutions (gray).

a – hexagonal osmium (Os); δ , e – zonal laurite (Lau); e – iridium (Ir) intergrown with Ir ferroplatinum (Pt,Fe, Ir). BSE-photo.



Химический состав МПГ

ния Os-Ir сплавов, а также минералов изоморфных рядов лаурит-эрликманит и кашинит-боуит. Аналогичные морфологические особенности отмечаются и для МПГ разведочного участка «Высоцкий» (Толстых и др., 2011).

Из изложенного следует, что при разрушении коренных пород и переносе обломочного материала на незначительное расстояние зёрна платиноидов сохраняют свою первичную форму. В процессе образования элювиально-делювиальной россыпи агрегаты МПГ «освобождаются» от зёрен хромшпинелида. По аналогии с характеристикой коренного хромит-платинового оруденения Светлоборского массива (Толстых и др., 2011; Tolstykh et al., 2015; Степанов и др., 2017), Pt-Fe минералы из исследуемой россыпи разделены на минералы ранней магматической ассоциации, включающей в себя изоферроплатину Pt₃Fe или самородную платину с формулой Pt₂Fe, и минералы поздней постмагматической ассоциации с минералами изоморфного ряда тетраферроплатина (PtFe) – туламинит (Pt₂CuFe) – никельферроплатина (Pt₂FeNi). В ранних Pt-Fe минералах есть многочисленные включения твёрдых



Рис. 5. Вариативные диаграммы состава Pt-Fe минералов Светлоборского массива.

1–3 – минералы из: 1 – элювиально-делювиальной россыпи, 2 – хромититов (Степанов и др., 2017), 3 – дунитов (Толстых и др., 2011); 4 – положение «идеальных» составов Pt-Fe минералов. N – количество анализов из ранней и поздней фссоциации, соответственно.

Fig. 5. Composition of Pt-Fe minerals from the Svetly Bor massif.

1-3 – minerals from: 1 – eluvial-deluvial placer, 2 – chromitites (Stepanov et al., 2017), 3 – dunites (Tolstykh et al., 2011); 4 – position of theoretic compositions of Pt-Fe minerals. N – number of analyses of PGMs from early and late association, respectively.

растворов Os-Ir-Ru и сульфидов ЭПГ изоморфных рядов лаурит–эрликманит (RuS_2 –OsS_2) и кашинит– боуит (Ir_2S_3 – Rh_2S_3). При исследовании получены данные химического состава для более 100 точек минералов платиновой группы.

Ранняя ассоциация Pt-Fe минералов. Абсолютное большинство Pt-Fe минералов ранней ассоциации представлены изоферроплатиной Pt₃Fe (рис. 5), за исключением одного анализа с составом железистой платины, которая образует мелкое обособление в центре зерна изоферроплатины (рис. 6а).

С целью точной диагностики Pt-Fe сплавов, для трёх образцов состава Pt₃Fe проведён рентгеноструктурный анализ. В результате были получены наиболее интенсивные отражения от плоских сеток (110), (111), (220), (200), (222), соответствующие изоферроплатине Pt₃Fe, менее интенсивные отражения самородной платины (111), (220), (200) и, только в одном образце, – отражения тетраферроплатины PtFe. Исходя из этого, далее минералы с составом Pt₃Fe в элювиально-делювиальных отложениях Светлоборского массива мы относим к изоферроплатине.

Изоферроплатина обладает выдержанным составом с колебанием содержания Pt в пределах 87.8–90.6 мас. % (табл. 1). Содержание Fe более стабильно (7.3-8.2 мас. %). Для исследованных образцов характерна постоянная примесь Си в количестве 0.5-1.0 мас. %, а также примесь Ir до 4.9 мас. %. Примеси Rh и Pd отмечаются не во всех анализах, и их содержание составляет первые проценты. Примесь Os до 1.5 мас. % встречается в единичных анализах. Содержание Ru в основном ниже предела обнаружения. Иногда в индивидах изоферроплатины присутствуют структуры распада твёрдого раствора с тонкопластинчатыми выделениями более иридистой разновидности Pt-Fe минерала, ориентированными по спайности (см. рис. 6б), при этом в различных точках состав большинства Pt-Fe индивидов отличается слабо. Аналогичные пластинчатые структуры распада Pt-Ir-Fe твёрдых растворов описаны для МПГ из платиноносных дунитов и аллювиальных россыпей Нижнетагильского (Рамдор, 1962) и Инаглинского массивов (Разин, 1968).

Поздняя ассоциация Pt-Fe минералов. Для ассоциации МПГ элювиально-делювиальной россыпи присутствие минералов изоморфного ряда тетраферроплатина-туламинит-никельферроплатина нехарактерно. Обнаружено единственное зерно, в котором по изоферроплатине развита каёмка тетраферроплатины (см. рис. 6в), и несколько зёрен с мелкими обособлениями тетраферроплатины, расположенными в их краевых частях (см. рис. 6г, участки 13, 14). Примеси Os, Ir, Rh, Ru и Pd в тетраферроплатине до 1 мас. %, за исключением одного анализа (см. рис. 6г, участок 13) с содержанием Pd 1.66 мас. %.

Для ассоциации МПГ из хромититов разведочного участка «Вершинный» Светлоборского массива характерно абсолютное преобладание изоферроплатины с однородным внутренним строением (Малич и др., 2017; Степанов и др., 2017), при этом отмечается малое количество поздних минералов изоморфного ряда тетраферроплатина–туламинит (Степанов и др., 2017). В отличие от исследуемой россыпи, в коренном залегании установлены единичные зёрна с каёмками туламинита, а не тетраферроплатины. Таким образом, россыпная и коренная ассоциации МПГ разведочного участка «Вершинный» по составу и распределению Pt-Fe минералов являются идентичными.

Ассоциация Pt-Fe минералов из дунитов участка «Высоцкого» значительно отличается по степени распространённости минералов поздней ассоциации, причём в ранней ассоциации также преобладает изоферроплатина, а каймы замещения и



Рис. 6. Сечения зёрен Pt-Fe минералов и участки анализов (*цифры* – номера анализов в табл. 1 и 2). *а* – изоферроплатина (2) с железистой платиной (1; Pt Fe) и включением иридистого осмия (Os, Ir); *б* – изоферроплатина (3; Pt Fe) со структурой распада твёрдого раствора и включением эрликманита (21; Erl); *в* – зёрна изоферроплатины (4–6) с каёмкой тетраферроплатины (PtFe) и включениями эрликманита (22–24) и иридистого осмия (16); *г* – пинакоидальное включение иридистого осмия и тетраферроплатина (13, 14) в краевой части зерна изоферроплатины (7); *д* – агрегат МПГ; *е* – крупное включение агрегата кашинита (28–29), купроиридсита (30; CuIrst), купрородсита (31; CuRhst) и Os-Ir минералов в зерне изоферроплатины (9); *ж* – изоферроплатина (10) с включениями лаурита (32; Lau) и кашинита (33; Ksh), *з* – крупное зерно платинистого иридия (18–20; Ir, Pt) в срастании с иридистой платиной (15; (Pt, Fe, Ir); *u* – срастание изоферроплатины (11, 12) и хромшпинелида (Crsp). BSE-фото.

Fig. 6. Cross-sections of grains of Pt-Fe minerals and areas of analyses (*numbers* correspond to those of analyses in Tables 1 and 2).

a – isoferroplatinum (2) with ferroplatinum (1; Pt Fe) and inclusion of Ir-rich osmium (Os, Ir); δ – isoferroplatinum (3; Pt₃Fe) with exsolution structure and inclusion of erlichmanite (21; Erl); e – grains of isoferroplatinum (4–6) with tetraferroplatinum (PtFe), inclusion of erlichmanite (22–24) and Ir-rich osmium (16); e – pinacoidal inclusion of Ir-rich osmium and tetraferroplatinum (13, 14) in the peryphery of isoferroplatinum grain (7); ∂ – aggregate of PGM of complex structure; e – large inclusion aggregates of kashinite (28–30), cuprorhodsite (31; CuRhst)) and Os-Ir minerals in the isoferroplatinum grain (9); \mathcal{H} – isoferroplatinum (10) with inclusion of laurite (32; Lau) and kashinite (33; Ksh); 3 – large grain of platinum iridium (18–20; Ir, Pt) intergrown with Ir platinum (15; (Pt, Fe, Ir); u – intergrowth of isoferroplatinum (11, 12) and chromite (Crsp). BSE-photo.

полные псевдоморфозы тетраферроплатины и туламинита были выявлены в половине исследуемых зёрен (Толстых и др., 2011; Tolstykh et al., 2015).

Включения в Pt-Fe минералах. Включения в Pt-Fe минералах из элювиально-делювиальной россыпи распространены достаточно широко. Во многих образцах можно встретить пинакоидальные кристаллы осмия (см. рис. 6а, в–д). В составе таких включений в основном содержится около 67 мас. % Os, реже – до 86.8 мас. % (табл. 2). Основными примесями в минералов Os-Ir твёрдого раствора являются Pt и, в меньшей степени, прочие ЭПГ до 3 мас. %; остальное приходится на Ir.

Со слов геологов, работающих на приисках, россыпи, связанные со Светлоборским массивом, характеризуются находками самородков иридия до 12 граммов. Среди МПГ из элювиально-делювиальной россыпи было найдено одно такое зерно (см. рис. 4г) в виде сростка иридия с иридистой платиной (см. рис. 63, участок 15). Состав само-

Составы Pt-Fe минералов, мас. %

1	аблица	1
---	--------	---

Composition of Pt-Fe minerals, wt. %											
№ ан.	Fe	Ni	Cu	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Сумма	Формула
1	10.90	0.19	0.83	0.07	0.86	0.97	0.19	1.36	87.81	103.20	$Pt_{1.98}Rh_{0.04}Pd_{0.04}Ir_{0.03}(Fe_{0.86}Cu_{0.06})_{0.92}$
2	7.83	0.09	0.73	0.02	0.83	1.03	0.09	1.18	89.07	100.86	$Pt_{2.89}Pd_{0.06}Rh_{0.05}Ir_{0.04}(Fe_{0.89}Cu_{0.07})_{0.96}$
3	8.22	-	0.28	0.09	0.14	0.71	1.56	0.75	88.90	100.65	$Pt_{291}Os_{005}Rh_{004}Ir_{002}(Fe_{094}Cu_{003})_{097}$
4	8.12	0.07	0.66	-	0.29	0.34	-	0.70	90.68	100.87	$Pt_{2.96}Ir_{0.02}Pd_{0.02}(Fe_{0.93}Cu_{0.07})_{1.00}$
5	7.91	0.11	0.45	0.04	0.89	0.14	-	0.51	89.72	99.77	$Pt_{297}Rh_{0.06}Pd_{0.01}$ (Fe _{0.92} Cu _{0.05}) _{0.97}
6	7.92	0.07	0.48	-	0.90	0.27	-	0.80	90.23	100.67	$Pt_{2,05}Ir_{0,03}Rh_{0,06}Pd_{0,02}$ (Fe _{0,01} Cu _{0,05}) _{0.96}
7	7.41	-	1.03	-	0.17	0.47	0.10	1.95	89.58	100.71	$Pt_{2.95}Ir_{0.07}Rh_{0.03}(Fe_{0.85}Cu_{0.10})_{0.95}$
8	7.55	0.03	0.49	0.07	0.11	0.29	-	2.05	88.99	99.59	$Pt_{2,99}Os_{0,07}(Fe_{0,89}Cu_{0,05})_{0,94}$
9	7.31	0.08	0.64	0.09	0.16	0.37	0.64	2.74	88.35	100.39	$Pt_{2,94}Ir_{0,09}Pd_{0,02}$ (Fe _{0.85} Cu _{0.07}) _{0.92}
10	7.60	0.05	0.47	0.04	0.15	0.46	0.15	4.93	84.91	98.75	$Pt_{285}Ir_{017}Pd_{003}Rh_{001}(Fe_{089}Cu_{005})_{094}$
11	7.16	-	0.78	-	0.21	0.24	0.20	1.69	87.91	98.20	$Pt_{300}Ir_{0.06}(Fe_{0.86}Cu_{0.08})_{0.94}$
12	8.12	-	0.75	-	0.17	0.33	-	1.33	90.24	100.94	$Pt_{2.95}Ir_{0.04}(Fe_{0.93}Cu_{0.08})_{1.01}$
13	17.28	0.09	1.17	-	0.02	0.31	0.12	0.39	78.82	98.20	$Pt_{1,10} (Fe_{0,85}Cu_{0,05})_{0,90}$
14	16.29	0.10	2.23	-	0.33	1.66	0.09	0.06	75.51	96.26	$Pt_{1.06}Pd_{0.04}$ (Fe _{0.80} Cu _{0.10}) _{0.90}
15	10.41	0.57	0.23	0.04	1.09	0.65	0.02	16.11	72.38	101.50	$Pt_{1.66}Ir_{0.37}Rh_{0.05}Pd_{0.03}(Fe_{0.83}Ni_{0.04}Cu_{0.02})_{0.89}$

Примечание. Минералы: 1 – железистая платина, 2–12 – изоферроплатина, 13, 14 – тетраферроплатина, 15 – иридистая платина. Расчёт ан. 1, 15 на 3 атома в формуле, ан. 2–12 – на 4 атома, ан. 13, 14 – на 2 атома. Прочерк – не обнаружено. Микрозонд Camebax SX50, аналитик Д.А. Ханин.

Note. Minerals: 1 - ferroplatinum, 2-12 - isoferroplatinum, 13, 14 - tetraferroplatinum; 15 - iridium platinum. Formulas are recalculated for 3 (an. 1 and 15), 4 (an. 2-12) and 2 (an. 13, 14) atoms. Dash - not detected. Camebax SX50 microprobe, analyst D.A. Khanin.

Таблица 2

Составы минералов твёрдого раствора Os-Ir-(Ru) и сульфидов ЭПГ изоморфных рядов лаурит-эрликманит и кашинит-боуит, мас. % *Table 2*

Composition of Os-Ir-(Ru) minerals and PGE sulfides of isomorphic series	
of laurite-erlichmanite and kashinite-bowieite, wt. %	

№ ан.	Fe	Cu (Ni)	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	S	Сумма	Формула
16	0.03	0.16	0.80	0.44	—	86.87	6.35	2.70	_	97.34	$Os_{0.88}Pt_{0.27}Ir_{0.06}Ru_{0.02}Rh_{0.01}$
17	0.04	0.35	0.17	0.68	-	67.41	30.86	0.55	0.38	100.45	Os _{0.68} Ir _{0.30} Ru _{0.01}
18	2.89	(0.18)	2.74	2.44	0.83	2.86	80.43	8.84	-	100.65	$Ir_{0.71}Pt_{0.08}Fe_{0.09}Ru_{0.05}Rh_{0.04}Os_{0.03}Pd_{0.01}$
19	2.56	(0.15)	2.41	2.05	0.70	1.85	74.73	17.06	-	100.87	$Ir_{0.66}Pt_{0.15}Fe_{0.08}Ru_{0.04}Rh_{0.03}Os_{0.02}Pd_{0.01}$
20	2.79	(0.14)	1.25	1.77	0.70	3.00	74.88	17.78	-	102.32	$Ir_{0.67}Pt_{0.16}Fe_{0.09}Rh_{0.03}Os_{0.03}Ru_{0.02}Pd_{0.01}$
21	1.25	0.22	0.04	4.84	_	48.74	13.40	4.83	23.12	96.45	$(Os_{0.71}Rh_{0.13}Ir_{0.19}Fe_{0.06}Pt_{0.07})_{1.16}S_{2.00}$
22	0.04	_	0.78	2.82	—	64.31	4.55	0.63	25.68	98.81	$(Os_{0.84}Rh_{0.07}Ir_{0.06}Ru_{0.02}Pt_{0.01})_{1.00}S_{2.00}$
23	1.87	_	1.45	2.73	-	64.72	2.75	0.28	22.37	96.17	$(Os_{0.98}Rh_{0.08}Ir_{0.04}Ru_{0.04})_{0.93}S_{2.00}$
24	0.05	0.04	0.85	2.66	_	66.11	2.36	0.04	27.03	99.14	$(Os_{0.82}Rh_{0.06}Ir_{0.03}Ru_{0.02})_{0.93}S_{2.00}$
25	6.89	1.27	_	16.15	_	0.12	56.01	0.34	17.71	98.49	_
26	0.07	0.11	13.17	1.84	—	47.71	5.73	—	28.07	96.71	$(Os_{0.57}Ru_{0.30}Ir_{0.07}Rh_{0.04})_{0.98}S_{2.00}$
27	0.07	0.19	18.24	1.28	-	40.72	5.94	0.30	30.31	97.05	$(Os_{0.45}Ru_{0.38}Ir_{0.07}Rh_{0.03}Cu_{0.01})_{0.94}S_{2.00}$
28	0.82	0.62	_	20.33	_	-	53.24	0.37	22.90	98.28	$(Ir_{116}Rh_{0.83}Fe_{0.06}Cu_{0.04}Pt_{0.01})_{2.08}S_{3.00}$
29	0.99	_	—	22.20	_	_	52.63	0.29	23.66	99.76	$(Ir_{111}Rh_{0.88}Fe_{0.07}Pt_{0.01})_{2.07}S_{3.00}$
30	5.23	6.06	0.11	13.64	_	0.19	50.73	—	25.60	101.55	$(Ir_{0.99}Rh_{0.50}Cu_{0.36}Fe_{0.35})_{2.20}S_{3.00}$
31	5.56	5.18	—	30.46	-	-	34.86	—	25.74	101.80	$(Rh_{1,10}Ir_{0.68}Fe_{0.37}Cu_{0.30})_{2.45}S_{3.00}$
32	-	0.03	39.83	1.58	1.76	17.68	5.14	0.27	34.88	101.17	$(Ru_{0.72}Os_{0.17}Ir_{0.05}Rh_{0.03}Pd_{0.03})_{2.00}S_{2.00}$
33	0.03	0.42	0.04	22.63	_	0.17	50.80	0.34	22.89	97.32	$(Ir_{1.11}Rh_{0.92}Cu_{0.03}Pt_{0.01})_{2.07}S_{3.00}$

Примечание. Минералы: 16–20 – твёрдые растворы Os-Ir-(Ru), 21–33 – сульфиды ЭПГ (21–27 – эрликманит, 28–30, 33 – кашинит, 31 – боуит, 32 – лаурит). Расчёт ан. 16-20 – на 1 атом в формуле, ан. 21-27, 32 – на 3 атома S, ан. 28–31, 33 на 2 атома S. В ан. 25 захвачена матрица Pt-Fe. Прочерк – не обнаружено. Микрозонд Camebax SX50, аналитик Д.А. Ханин.

Note. Minerals: 16-20 – minerals of Os-Ir-(Ru) solid solutions, 21-33 – PGE sulfides (21–27 – erlichmanite, 28–30, 33 – kashinite, 31 – bowieite, 32 - laurite). Chemical formulas are recalculated for 3 (an. 21–27) and 2 (an. 28–31, 33) sulfur atoms. Analysis 25 is characterized by the presence of Pt-Fe matrix. Dash – not detected. Camebax SX50 microprobe, analyst D.A. Khanin.



Puc. 7. Точки составов тугоплавких включений на тройных диаграммах в координатах Ru - (Ir + Pt) - Os(a), $S - Ir - Rh(\delta) u (Ir + Rh) - Ru - Os(\epsilon)$.

1 – область несмесимости; 2 – точки составов минералов.

Fig. 7. Composition of PGE sulfides on Ru - (Ir + Pt) - Os(a), $S - Ir - Rh(\delta)$, and (Ir + Rh) - Ru - Os(e) diagrams. 1 – immiscibility gap; 2 – data points of PGM composition.

родного иридия в разных точках индивида меняется незначительно: основной примесью является Pt, а содержание остальных ЭПГ около 2 мас. % для каждого, за исключением Pd, которого менее 1 мас. %.

Среди сульфидов ЭПГ изоморфных рядов лаурит–эрликманит и кашинит–боуит незначительно преобладает эрликманит OsS₂ (рис. 7), состав которого меняется от почти идеальной формулы до крайнего члена изоморфного ряда – лаурита с составом, близким RuS₂. Главными примесями являются остальные ЭПГ с содержанием до 6 мас. %, при этом обычно отмечается незначительная примесь Pt (менее 0.6 мас. %), а содержание Pd ниже предела обнаружения.

Состав минералов изоморфного ряда кашинит-боуит меняется в меньших пределах (от 53 до 34 мас. % Ir). При этом характер распределения примесных компонентов отличается от минералов ряда лаурит-эрликманит: сумма ЭПГ редко превышает 0.5 мас. %; характерна незначительная примесь Pt (нередко ниже предела обнаружения) и аналогичные содержания Pd. Исключение составляет боуит с содержанием Pd 1.7 мас. % (см. табл. 2, ан. 32).

В единичном количестве присутствуют зёрна тиошпинелей ряда купроиридсит-купрородсит (см. табл. 2, ан. 30-31). Они образуют идиоморфные индивиды в срастании с различными сульфидами ЭПГ, преимущественно с кашинитом (см. рис. 6е, участки 28-32).

В Pt-Fe сплавах из хромититов Светлоборского массива также широко распространены минералы Os–Ir твёрдого раствора (Малич и др., 2017; Степанов и др., 2017). Они образуют идиоморфные гексагональные индивиды, аналогичные по форме и составу осмию из россыпей. Присутствуют и индивиды иридия. Характерной особенностью для хро-

мититов Светлоборского массива является также широкое развитие промежуточных разновидностей сульфидов ЭПГ изоморфных рядов лаурит–эрликманит и кашинит–боуит, а также Ir–Rh тиошпинелей ряда купроиридсит–купрородсит–феррородсит (Малич и др., 2017; Степанов и др., 2017). Аналогичные находки отмечаются среди МПГ участка «Высоцкий» (Толстых и др., 2011), при этом встречаются мелкие зёрна спериллита, сульфоарсенидов ЭПГ (холлингвортит, ирарсит) и других минералов, относящихся к низкотемпературной наложенной минерализации и не отмеченных среди МПГ изучаемой россыпи.

Дискуссия

Вопросу поведения МПГ при процессах формирования россыпей уделено существенное внимание. Для Уральского региона детально рассмотрены особенности перехода МПГ в аллювиальные и ложковые россыпи (Высоцкий, 1923; Степанов и др., 2015). В пределах Корякско-Камчатского пояса особенности формирования платиновых россыпей охарактеризованы с высокой детальностью (Tolstykh et al., 2005; Вильданова и др., 2002; Сидоров и др., 2012). Поскольку промышленное значение имеют преимущественно ложковые и аллювиальные россыпи, то закономерностям концентрирования платиновых минералов в элювиально-делювиальных россыпях, залегающих непосредственно на оруденелых породах в пределах клинопироксенит-дунитовых массивов, было уделено существенно меньшее внимание. Однако, именно изучение особенностей формирования надрудных шлиховых ореолов, в том числе в пределах платиноносных интрузивов иной формационной принадлежности, позволяет понять основные закономерности зарождения россыпей (Толстых, Подлипский, 2010; и др.). Результаты нашего исследования на примере Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива демонстрируют идентичность платиноидной минерализации в элювиально-делювиальных россыпях и коренных хромититах, что позволяет считать шлиховую съёмку одним из основополагающих методов на ранних стадиях поисковых работ, направленных на выявление коренного хромит-платинового оруденения. Совокупность данных о геологическом строении коренных хромит-платиновых рудных зон и о характере развития нелитифицированных осадков с оценкой распределения в них МПГ позволяет проанализировать процессы, происходившие на наиболее важном - начальном этапе развития россыпных платиновых систем, связанных с клинопироксенит-дунитовыми массивами.

Состав Pt-Fe минералов и включений в них из коренных хромититов и надрудных элювиальноделювиальных отложений Светлоборского массива характеризуется Ir-Pt специализацией (Степанов, 2014; Степанов и др., 2017), отличающейся от Os-Pt геохимической специфики дунитового оруденения в пределах рудопроявления «Высоцкого» (Толстых и др., 2011; Tolstykh et al., 2015) в пределах этого же массива. Исходя из преобладания среди МПГ Pt-Fe минералов, нередко со структурами распада иридия и включениями сульфидов ЭПГ (лаурита, эрликманита, кашинита, боуита, Ir-Rh тиошпинели), можно сделать вывод, что россыпная ассоциация элювиально-делювиальной россыпи участка Вершинный аналогична платиноидному оруденению хромититов большинства клинопироксенит-дунитовых массивов как Уральского региона (Бетехтин, 1935; Пушкарёв и др., 2007; Толстых и др., 2011; и др.), так и Корякско-Камчатского пояса (Кутыев и др., 1991; Tolstykh et al., 2005; Вильданова и др., 2002; Сидоров и др., 2012), а также массивов Инагли и Кондёр (Рудашевский, Жданов, 1983; Малич, Баданина, 2015).

Основные выводы

Контуры шлиховой аномалии платины (элювиально-делювиальной россыпи) в целом совпадают с площадью развития коренных массивных хромититов, что характерно и для элювиальных россыпей других минералов (Билибин, 1955; Корчуганова, 2010).

МИНЕРАЛОГИЯ 3(4) 2017

Среди МПГ элювиально-делювиальной россыпи разведочного участка «Вершинный» Светлоборского массива абсолютно преобладают Pt-Fe минералы со стехиометрией изоферроплатины с включениями минералов состава Os-Ir-(Ru), а также сульфидов ЭПГ изоморфных рядов лаурит–эрликманит и кашинит–боуит. В целом такая специфика минерализации соответствует иридисто-платиновому минералого-геохимическому типу россыпей (Платина..., 1995).

Особенностью россыпей, связанных с породами Светлоборского массива, по сравнению с россыпями в клинопироксенит-дунитовых массивах Урала, являются находки относительно крупных самородков иридия.

Установлено, что коренная хромит-платиновая и россыпная минерализация МПГ участка «Вершинный» практически идентичны: это преобладание минерала со стехиометрией изоферроплатины, присутствие идиоморфных пластинок осмия и индивидов иридия, обилие сульфидов ЭПГ. В процессе россыпеобразования агрегаты МПГ «освобождаются» от зёрен хромшпинелида и слабо подвергаются механическому износу. При этом они наследуют первичные морфологические признаки минералов коренного хромит-платинового оруденения. Составы Pt-Fe твёрдых растворов и минеральных включений в обеих ассоциациях МПГ идентичны. Следовательно, шлиховую съёмку можно считать одним из основополагающих методов на ранних стадиях поисковых работ, направленных на выявление коренного хромит-платинового оруденения.

Авторы благодарны за предоставление материалов для исследований ЗАО «Урал-МПГ» и главному геологу ЗАО «Урал-МПГ» А.В. Корнееву, а также А.В. Козлову и Л.Н. Шарпёнок за проведенные консультации.

Литература

Баранников А.Г. Осовецкий Б.М. (2014) Платиновые и платиносодержащие россыпи Урала, критерии и признаки их пространственной связи с первоисточниками. Известия Уральского государственного горного университета, **35**(3), 12–29.

Бетехтин А.Г. (1935) Платина и другие минералы платиновой группы. М., АН СССР, 148 с.

Билибин Ю.А. (1955) Основы геологии россыпей. М., АН СССР, 472 с.

Вильданова Е.Ю., Зайцев В.П., Кравченко Л.И. (2002) Корякско-Камчатский регион – новая платиноносная провинция России. Спб., ВСЕГЕИ, 383 с. Высоцкий Н.К. (1923) Платина и районы её добычи. *Труды КЕПС*, Петроград, **2–3**, 343 с.

Генкин А.Д. (1997) Последовательность и условия образования минералов платиновой группы в Нижнетагильском массиве. *Геология рудных месторождений*, **39**(1), 41–48.

Государственная геологическая карта Российской Федерации (2001). Масштаб 1:200000 Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист О-40-XII (Качканар): Объяснительная записка. Десятниченко Л.И., Фадеичева И.Ф. и др. Под ред. В.В. Шалагинова. Екатеринбург.

Гурская Л.И. (1997) Развитие идей А.П. Карпинского по выявлению коренных месторождений платиноидов на Урале. *Региональная геология и металлогения*, (7), 76–87.

Заварицкий А.Н. (1928) Коренные месторождения платины на Урале. *Материалы по общей и прикладной геологии*, Ленинград, **108**, 56 с.

Зайцев А.М. (1898) Месторождения платины на Урале. Томск, 74 с.

Иванов О.К. (1997) Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: (Минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 488 с.

Корчуганова Н.И. (2010) Геология россыпей. Методические рекомендации. М., ГЕОКАРТ-ГЕОС, 306 с.

Кутыев Ф.Ш., Сидоров Е.Г., Резниченко В.С., Семёнов В.Л. (1991) Новые данные о платиноидах в зональных ультраосновных комплексах юга Корякского нагорья. Доклады Академии Наук, **317** (6), 1458–1461.

Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Сахьянов Л.О. (1992) Платинометальная минерализация зональных ультраосновных и коматиитовых массивов. Ленинград, Недра, 217 с.

Малич К.Н., Баданина И.Ю. (2015) Железо-платиновые сплавы хромититов Нижнетагильского и Кондёрского клинопироксенит-дунитовых массивов (Россия). Доклады Академии Наук, **462**(6), 692–696.

Малич К.Н., Степанов С.Ю., Баданина И.Ю., Хиллер В.В. (2017) Коренная платиноидная минерализация зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала. Доклады Академии Наук, 476(4), 440–444.

Мосин К.И. (2000) История добычи платины на Урале. Н. Тура, Нижнетуринская типография, 246 с.

Платина России (1995) М., Геоинформмарк, 166 с.

Пушкарёв Е.В., Аникина Е.В., Гарути Дж., Заккарини Ф. (2007) Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса. Литосфера, (3), 28-65.

Разин Л.В. (1968) О минеральном составе продуктов распада природных твёрдых растворов иридия в платине. Вопросы геологии месторождений золота и золотоносных районов. Труды ЦНИГРИ, 79, 163–177.

Рамдор П. (1962) Рудные минералы и их срастания. М., Иностранная литература, 1118 с.

Рудашевский Н.С., Жданов В.В. (1983) Петрогенезис в платиноносных ультрамафитах. *Записки ВМО*, 112(2), 222–228.

Сидоров Е.Г., Козлов А.П., Толстых Н.Д. (2012) Гальмоэнанский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность. М., Научный мир, 288 с.

Степанов С.Ю. (2014) Особенности платинового оруденения ультраосновных интрузивов Урало-Аляскинского типа на примере массивов Платиноносного пояса Урала. *Материалы Четвёртой молодёжной Шко*лы. М., ИГЕМ РАН, 269–272.

Степанов С.Ю., Пилюгин А.Г., Золотарев А.А. (2015) Сравнительная характеристика составов минералов платиновой группы в хромититах и россыпях Нижнетагильского массива, Средний Урал. Записки Горного института, 211(1), 22–28.

Степанов С.Ю., Малич К.Н., Козлов А.В., Баданина И.Ю., Антонов А.В. (2017) Платиноидная минерализация Светлоборского и Вересовоборского клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала (Россия). *Геология рудных месторождений*, **59** (3), 238–250.

Телегин Ю.М., Телегина Т.В., Толстых Н.Д. (2009) Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушенского массивов Платиноносного пояса Урала. Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Материалы третьей международной конференции. Екатеринбург, Институт геологии и геохимии УрО Ран, 2, 212–215.

Толстых Н.Д., Подлипский М.Ю. (2010) Информативность шлиховых ореолов для поисков платинометального оруденения. *Геология рудных месторождений*, **52**(3), 221–240.

Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П. (2011) Коренная платина Светлоборского и Каменушенского массивов платиноносного пояса Урала. *Геология и геофизика*, **52**(6), 775–793.

Auge T., Genna A., Legendre O., Ivanov K.S., Volchenko Yu.A. (2005) Primary platinum mineralization in the Nizhny Tagil and Kachkanar ultramafic complexes, Urals, Russia: A genetic model for PGE concentration in chromite-rich zones. *Economic geology and the bulletin of the society of economic geologists*, (4), 707–732.

МИНЕРАЛОГИЯ 3(4) 2017

Cabri L.J., Feather C.E. (1975) Platinum-iron alloys: nomenclature based on a study of natural and synthetic alloys. *Canadian Mineralogist*, (13), 117–126.

Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. (2015) Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt. *Ore geology Reviews*, 67, 234–243.

Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Krivenko A.P. (2005) Platinum-group element placers associated with Ural-Alaska type complexes / *Exploration for Platinum-Group Element Deposits*. Short Course Ser. MAC, **35**(6), 113–143.

Reference

Barannikov A.G., Osovetskiy B.M. (2014) [Platinum and platinum-bearing placers of the Urals, criteria and indications of their spatial connection with primary sources]. *Izvestiya Ural'skogo Gornogo Universiteta [News of the Ural State Mining University]*, **35**(3), 12–29. (in Russian)

Betehtin A.G. (1935) [Platinum and other minerals of platinum groups]. M., Academy of Sciences USSR, 148 p. (in Russian)

Bilibin Yu.A. (1955) [Fundamentals of placer geology]. M., Academy of Sciences USSR, 472 c. (in Russian)

Genkin A.D. (1997) The sequence and conditions for the formation of platinum group minerals in the Nizhnytagilsky massif. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij [Geology of Ore Deposits]*, **39**(1), 41–48. (in Russian)

Gurskaya L.I. (1997) [Development of ideas of A.P. Karpinsky to identify the main deposits of platinoids in the Urals]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [*Regional geology and metallogeny*], (7), 76–87. (in Russian)

Ivanov O.K. (1997) [Zoned ultramafic complexes of Ural (Mineralogy, petrology, genesis)] Ekaterinburg, 488 p. (in Russian)

Korchuganova N.I. (2010) [Geology of placer. The guidelines]. Moscow, GEOKART-GEOS, 306 p. (in Russian)

Kutyev F.Sh., Sidorov E.G., Reznichenko V.S., Semenov V.L. (1991) [New data on platinoids in zonal ultrabasic complexes in the south of the Koryak highland]. *Doklady Academii Nauk SSSR [Doklady Academy of Sciences USSR]*, 317(6), 1458–1461. (in Russian)

Lazarenkov V.G., Malich K.N., Sahjanov L.O. (1992) [Platinum mineralization of zonal ultrabasic and komatiits massifs]. Leningrad, Nedra, 217 p. (in Russian)

Malich K.N., Badanina I.Yu. (2015) [Iron-platinum alloys from chromitites of the Nizhny Tagil and Kondyor clinopyroxenite-dunite massifs (Russia)]. *Doklady Akademii* Nauk [Doklady Academy of Sciences] 462(2), 634–637. (in Russian)

Malich K.N., Stepanov S.Yu., Badanina I.Yu., Khiller V.V. (2017) [Bedrock platinum-metal mineralization of zoned clinopyroxenite-dunite massifs of the Middle Urals (Russia)]. *Doklady Akademii Nauk [Doklady Academy of Sciences*] **476**(4), 440–444. (in Russian)

Mosin K.I. (2000) [The history of platinum mining in the Urals]. N. Tura, printing House of Nizhnyaya Tura, 246 p. (in Russian)

Pushkarev E.V., Anikina E.V., Garuti G., Zaccarini F. (2007) [Chromium-platinum deposits of Nizhny-Tagil type in the Urals: structural-substantial characteristic and a problem of genesis]. *Litosfera [Lithosphere]* (3), 28–65. (in Russian)

Razin L.V. (1968) [On the mineral composition of breakdown products of natural solid solutions of iridium in platinum]. *Voprosy geologii mestorozhdeniy zolota i* zolotonosnykh rayonov. Trudy TSNIGRI: [Questions of geology of gold and gold-bearing areas. Works of ZNIGRI], **79**, 163–177.

Ramdor P. (1962) [Ore minerals and their intergrowths]. M., Foreign Literature, 1118 p. (in Russian)

Rudashevsky N.S., Zhdanov V.V. (1983) Petrogenezis in the platinum-bearing ultramafites. *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogycheskogo Obshchestva [Proceedings of All-Union Mineralogical Society]*, **112**(2), 222–228. (in Russian)

[**Russian platinum**] (1995). Moscow, Geoinformmark, 166 p. (in Russian)

Sidorov E.G. Kozlov A.P. Tolstykh N.D. (2012) [Galmoehnan basite-hyperbasite massif and its platinum content]. M.: Scientific world, 288 p. (in Russian)

[State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Second edition. Series of Central Ural. Sheet O-40-XII (Kachkanar): Explanatory note] by ed. V.V. Shalaginov (2001). Ekaterinburg. (in Russian)

Stepanov S.Yu. (2014) [Peculiarities of platinum mineralization of ultrabasic intrusions of the Ural-Alaskian type on the example of massifs of the Platinum Belt of the Urals.] *Materialy Chetvertoy molodozhnoy Shkoly* [Materials of the Fourth Youth School]. M., IGEM RAS, 269–272. (in Russian)

Stepanov S.Yu, Pilugin A.G., Zolotarev A.A. (2015) [Comparative characteristics of the compositions of platinum group minerals in chromitites and placers of the Nizhny Tagil massif, Central Urals]. *Zapiski Gornogo Instituta [Proceedings of Mining Institute]*, **211**(1), 22–28. (in Russian)

Stepanov S.Yu., Malitch K.N., Kozlov A.V., Badanina I.Yu., Antonov A.V. (2017) [Platinum group element mineralization of the Svetly Bor and Veresovy Bor clinopyroxenite-dunite massifs, Middle Urals, Russia]. Geologiya rudnykh mestorozhdenij [Geology of Ore Deposits], **59**(3), 238–250. (in Russian)

Okrugin A.V., Kim A.A., Nekrasov I.Ya. (1994) [Genetic types of platinum-metal mineral associations in placers of the Siberian kraton]. *Doklady Academii Nauk SSSR [Doklady Academy of Sciences USSR]*, **326**(7) 146– 150.

Telegin Yu.M., Telegina T.V., Tolstykh N.D. (2009) [Geological features of ore occurrences of the Svetloborsky and Kamenushensky massifs of the Platinum Belt of the Urals]. In: Ul'trabazit-bazitovyye kompleksy skladchatykh oblastey i svyazannyye s nimi mestorozhdeniya. Materialy tret'yey mezhdunarodnoy konferentsii [Ultrabasic-basite complexes of folded areas and associated deposits. Materials of the third International conference], 2, 212–215. (in Russian)

Tolstykh N.D., Telegin Yu. M., Kozlov A.P. (2011) Platinum mineralization of the Svetloborsky and Kamenushensky massifs (Urals Platinum Belt). *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, **52**(6), 775–793. (in Russian)

Tolstykh N.D., Podlipsky M.Y. (2010) Heavy concentrate halos as prospecting guides for PGE mineralization. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij [Geology of Ore Deposits[*, **52**(3), 196–214. (in Russian)

Vildanova E.Yu., Zaitsev V.P., Kravchenko L.I (2002) [The Koryak-Kamchatka region is a new platinumbearing province of Russia]. St.-Petersburg, VSEGEI, 383 p. (in Russian)

Visotskij N.K. (1923) [Platinum and its mining areas]. Petrograd, 343 p. (in Russian)

Zavaritskij A.N. (1928) [Ore platinum deposits at Ural] In: *Materialy po obshchej i prikladnoj mineralogii* [*Materials on general and applied geology*], (108), 56 p. (in Russian)

Zaytsev A.M. (1898) [Platinum deposits on the Urals]. Tomsk, 74 p. (in Russian)

Поступила в редакцию 20 декабря 2017 г.