

УДК: 549.27:553.491.8

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАТИНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ СВЕТЛОБОРСКОГО, ВЕРЕСОВОБОРСКОГО И НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВЫХ ИНТРУЗИВОВ (СРЕДНИЙ УРАЛ, РОССИЯ)

С.Ю. Степанов

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Stepanov-I@yandex.ru

В статье приводятся данные о минералах элементов платиновой группы дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Среднего Урала. Описаны Fe-Pt минералы и различные включения в них, представленные самородным осмием, а также сульфидами Os и Ru ряда лаурит-эрликманит и Rh и Ir ряда кашинит-боуит. Большая часть минералов платины была извлечена из хромититов, залегающих как в уже известных хромит-платиновых рудных зонах в пределах Нижнетагильского интрузива, так и во вновь выявленных зонах в дунитах Светлоборского и Вересовоборского интрузивов. Установлен ряд отличий платинового оруденения интрузивов, в строении которых принимают участие грубозернистые дуниты, от платинового оруденения интрузивов с ядром, сложенным преимущественно средне- и мелкозернистыми дунитами. Проведен анализ россыпной ассоциации платиновых минералов.

В статье 2 таблицы, 5 рисунков, список литературы из 11 названий.

Ключевые слова: интрузивы дунит-клинопироксенит-габбровой формации, Средний Урал, хромит-платиновые рудные зоны, минералы элементов платиновой группы, изоферроплатина, железистая платина.

Дунит-клинопироксенит-габбровые плутонические комплексы являются источниками крупных россыпных месторождений платины. Из россыпей Исовского района с 1824 по 2000 г. было добыто 233613 кг платины (Мосин, 2002). По официальным данным, с 1825 по 1972 г. Нижнетагильские россыпи послужили источником 147510 килограмм платины (Мосин, 2002). В последнее время в связи с истощением россыпей породы этих комплексов, в особенности дуниты, рассматриваются как потенциальные коренные источники платиноидов (Телегин и др., 2009).

Основываясь на ранее опубликованных работах (Виноградская, 1954; Иванов, 1997; и др.), а также на результатах собственных исследований, все клинопироксенит-дунитовые интрузивы Урала можно разделить на две большие группы. Массивы первой группы (Нижнетагильский, Вересовоборский) характеризуются присутствием грубозернистых дунитов и дунитовых пегматитов. Во вторую группу (Светлоборский массив) входят интрузивы с абсолютным преобладанием среди дунитов мелко- и среднезернистых разновидностей. В данной статье приводятся сравнительная характеристика дунит-клинопироксенитовых интрузивов и рассмотрены особенности проявления в них платинового оруденения.

Образцы и методика исследований

Геологическое строение и особенности взаимоотношения пород, слагающих концен-

трически-зональные ультраосновные интрузивы, изучались при полевых работах в летние периоды 2012–2014 гг.

Детальная минералого-петрографическая характеристика этих пород основана на исследовании прозрачных петрографических шлифов и аншлифов с использованием методов оптической микроскопии (микроскоп Leica DM2500P). Для более широкого охвата минералов элементов платиновой группы, вероятность вскрытия которых в аншлифах относительно невелика, они выделялись из проточек различных пород и рудных образований. Для получения проточек отбирались пробы весом от 2 до 20 кг. Пробы были раздроблены в щековой дробилке до размерности -1 мм и затем обогащены на центробежном концентраторе с получением искусственного шиха.

Снимки поверхностей зерен минералов получены с применением растровой электронной микроскопии. Работы проводились на приборной базе Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ФГУП «ВСЕГЕИ») с использованием сканирующего электронного микроскопа CamScan MX2500 (аналитик А.В. Антонов) и на приборной базе Национального минерально-сырьевого университета «Горный» на приборе Tescan VEGA (аналитик Ю.Л. Крецер). Для изучения особенностей внутреннего строения отдельных кристаллов и зернистых агрегатов платиновых минералов изготавливались искусственные аншлифы с их последующим изучением

с помощью оптического рудного и электронного микроскопов.

Определение состава минералов проводилось с использованием микроанализаторов, оборудованных энерго-дисперсионными спектрометрами: Inca energy 250 и Link Pentafet (Oxford Instruments, Si(Li)).

Для анализа особенностей проявления платиновой минерализации в эродированной части интрузивных массивов было произведено изучение минералов платины из россыпей различных генетических типов (элювиальных, делювиальных, ложковых и аллювиальных). Для исследования отбирались пробы объемом от 20 до 40 литров с последующим их обогащением на центробежном концентраторе и доводкой на лотке. Дальнейший анализ морфологических особенностей и внутреннего строения индивидов и агрегатов производился по методике, использованной для изучения минералов платины из коренных источников.

Геологическое строение концентрически-зональных ультраосновных интрузивов

Светлоборский, Вересовоборский и Нижнетагильский ультраосновные интрузивы входят в состав Платиноносного пояса Урала, который представляет собой цепь массивов дунит-клинопироксенит-габбрового состава, расположенных вдоль западного борта Тагильской мегазоны. Массивы пояса залегают в породах единого ордовикско-нижнесилурийского осадочно-вулканогенного комплекса (Иванов, 1997).

Общей особенностью рассматриваемых интрузивов является их концентрически-зональное строение с дунитовыми ядрами, окруженными клинопироксенитовой оболочкой. Наиболее ярким различием в строении дунитовых ядер различных массивов является присутствие грубозернистых дунитов и дунитовых пегматитов в Вересовоборском и Нижнетагильском массивах и их почти полное отсутствие в Светлоборском массиве. Тела грубозернистых дунитов и дунит-пегматитов тяготеют к центральным частям дунитовых ядер и имеют крайне сложную форму и постепенные переходы к вмещающим их более мелкозернистым разновидностям дунитов.

Крайне важной закономерностью, выявленной на Нижнетагильском интрузиве (Иванов, 1997; Столяров, 2002; Пушкарев и др., 2007), является приуроченность хромитового оруденения к зонам перехода от грубо- и

крупнозернистых дунитов к мелко- и среднезернистым разновидностям. В этих зонах в дунитах отмечается повышение содержания хромшпинелида, а также развитие многочисленных тел хромитов различных структурно-морфологических типов (шлировых, прожилково-вкрапленных, массивных жильных). С хромитовыми обособлениями связаны выделения крупной платины. В результате поисково-оценочных работ 2014–2015 гг. было установлено, что в пределах Вересовоборского интрузива хромитовое оруденение также пространственно тяготеет к зонам смены структурных типов дунитов. По аналогии с Нижнетагильским интрузивом, наиболее мощные участки с повышенным содержанием хромшпинелида и развитием хромитов расположены на контакте крупно-гигантозернистых дунитов с мелко-среднезернистыми.

Пространственная связь богатой хромитовой минерализации с зонами смены структур дунитов была выявлена и на Светлоборском интрузиве, но, в отличие от Нижнего Тагила и Вересового бора, положение этой зоны контролируется контактом среднезернистых дунитов с мелко- и тонкозернистыми разновидностями. Мощность переходной зоны несравнимо меньше аналогичной зоны Нижнетагильского интрузива. Среди хромитовых обособлений наибольшим распространением пользуются шлировые выделения и массивные хромитовые жилы.

Анализ геологического строения исследуемых концентрически-зональных ультраосновных интрузивов позволяет разделить их на две группы: интрузивы с развитием крупно- и грубозернистых дунитов и дунитовых пегматитов (Нижнетагильский и Вересовоборский) и интрузивы с абсолютным преобладанием мелко-среднезернистых разновидностей дунитов и широко проявленным дайково-жильным комплексом (Светлоборский массив).

Минералы элементов платиновой группы

Железо-платиновые минералы Вересовоборского и Нижнетагильского интрузивов, характеризующихся широким развитием грубозернистых дунитов и дунитовых пегматитов, встречаются обычно в виде зернистых агрегатов размером преимущественно 0.4–1.5 мм (до первых сантиметров). Реже отмечаются отдельные индивиды с преобладающим размером 0.1–0.2 мм. Железо-платиновые минералы обнаруживаются преимущественно

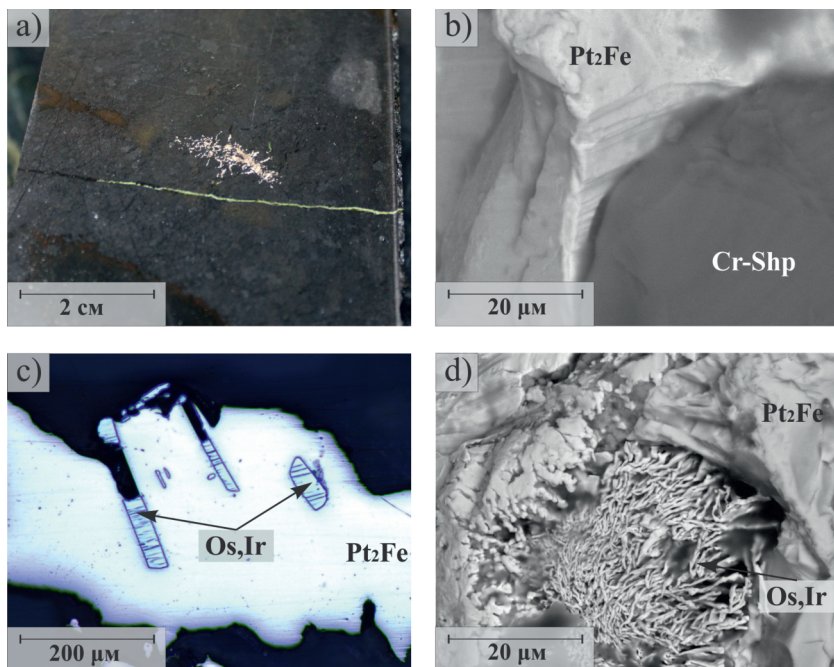


Рис. 1. Железистая платина Вересовоборского и Нижнетагильского интрузивов и связанных с ними россыпей: а – крупный зернистый агрегат железистой платины в хромите из керна разведочной скважины (работы ЗАО «Урал-МПГ»); б – поверхность совместного роста между хромшпинелидом (Cr-Shp) и железистой платиной (Pt_2Fe) из протоочки хромититов Нижнетагильского интрузива; в – включения осмистого иридия (Os,Ir) в железистой платине из элювиально-делювиальной россыпи на севере Вересовоборского интрузива; д – скелет из мельчайших кристаллов осмистого иридия, полученный после травления зерна железистой платины из россыпей на юге Вересового бора.

щественно в дунитах, характеризующихся повышенным содержанием хромшпинелидов, или непосредственно в хромититах (рис. 1а). Необходимо отметить, что важной, повсеместно развитой чертой морфологии платиновых индивидов и их агрегатов является развитие поверхностей совместного роста с хромшпинелидами, реже с оливинами (рис. 1б).

При исследовании особенностей внутреннего строения железо-платиновых минералов обнаруживаются включения, преимущественно Os-Ir минералов переменного состава (рис. 1с), в сечениях, часто имеющих пластинчатый облик. Реже наблюдаются многочисленные мельчайшие точечные включения Os-Ir минералов. При травлении железо-платиновой матрицы в царской водке было установлено, что многочисленные включения Os-Ir соединений, напоминающие в плоском сечении эмульсионный распад твердого раствора, на самом деле являются сечением скелета, состоящего из отдельных мельчайших кристаллов минералов Os и Ir (рис. 1д). Аналогичные особенности строения Fe-Pt минералов описаны в трудах В.И. Вернадского: «При осторожном же действии царской водки на некоторые разности платины можно получить из зерен платины кристаллический скелет, состоящий из гексагональных пластинок осмистого иридия, правильно расположенных. Этот скелет совершенно соответствует по форме зернышку платины...» (Высоцкий, 1913, с. 105).

В абсолютном большинстве случаев по первичным Fe-Pt минералам из Нижнетагильского и Вересовоборского интрузивов псевдоморфно развиваются ферроникельплатина, туламинит и различные медно-платиновые соединения. При изучении особенностей внутреннего строения минералов платины часто фиксируются полные псевдоморфозы ферроникельплатины и туламинита, а также Cu-Pt соединений по Fe-Pt минералам (рис. 2а). Для последних нередко устанавливаются каймы замещения вокруг центра, имеющего состав, соответствующий железистой платине (рис. 2б, с) или тетраферроплатине. Исходя из морфологических особенностей, холлингуртит, ирарсит и другие сульфиды и сульфоарсениды элементов платиновой группы также необходимо относить к поздним минералам, замещающим Fe-Pt сплавы (рис. 2д).

Железо-платиновые минералы ядра Светлоборского интрузива, сложенного мелко- и среднезернистыми дунитами, находятся в виде зернистых агрегатов размером 0.3–0.5 мм. Реже обнаруживаются отдельные индивиды размером менее 0.1 мм с хорошо проявленным кристаллографическим ограничением (рис. 3а). Морфология платиновых минералов приблизительно в равных соотношениях обусловлена развитием поверхностей совместного роста с хромшпинелидами и оливинами (рис. 3б) и развитием собственных кристаллографических форм. В изоферроплатине нередко обнаруживаются включения различ-

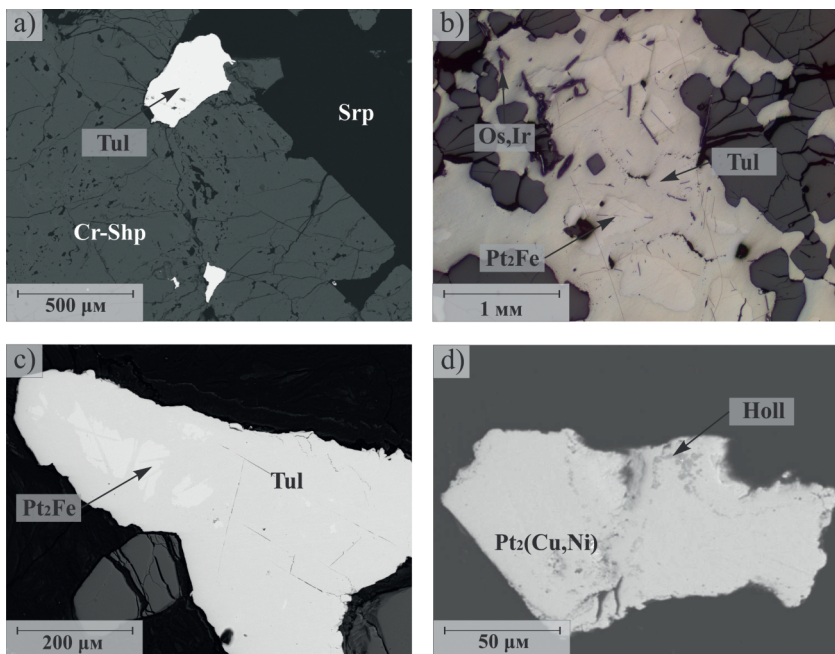


Рис. 2. Туламинит из хромититов Нижнетагильского и Вересовоборского интрузивов и россыпей: а – зерно туламинита (Tul) с примесью Ni в хромититах Сыркова лога, Нижнетагильский интрузив, б – замещение туламинитом (Tul) железистой платины (Pt_2Fe) в хромититах Вересовоборского интрузива; с – замещение железистой платины туламинитом в хромититах из Нового дунитового карьера (Нижнетагильский интрузив); d – Ir-содержащий холлингвортит (Holl) в медистой ферроникельплатине $Pt_2(Cu, Ni)$ из аллювиальной россыпи р. Рублёвик (Нижнетагильский интрузив). Srp – серпентин, Cr-Shp – хромшпинелид.

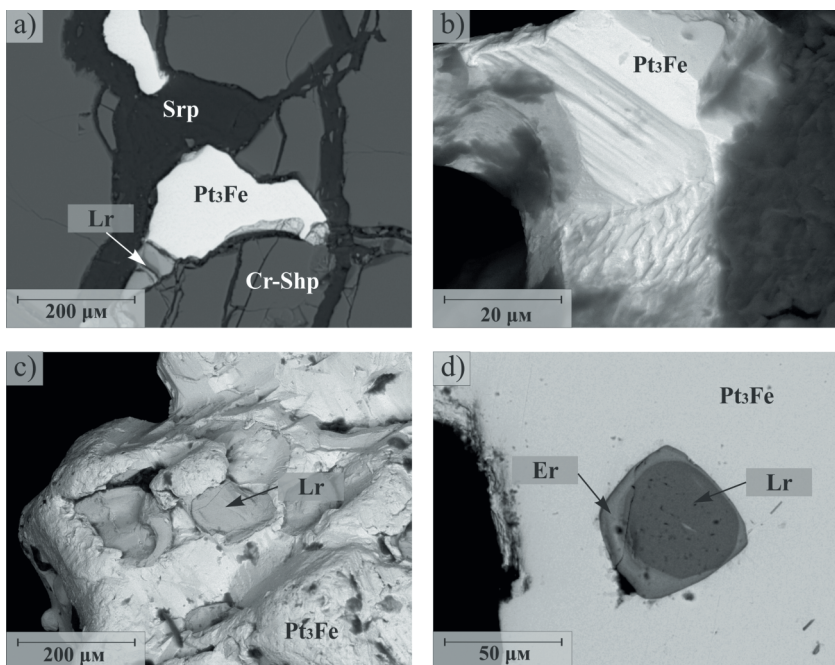


Рис. 3. Минералы платиновой группы из хромититов Светлоборского интрузива и россыпей различных генетических типов, связанных с интрузивом: а – изоферроплатина в хромититах рудопроявления Вершинное; б – индукционная штриховка, возникающая при совместном росте хромшпинелида и изоферроплатины – аллювиальная россыпь р. Косья; с – включения лаурита в изоферроплатине, дельювиальная россыпь Травянистого лога; d – включение лаурита, эрликманита и кашинита в изоферроплатине из дельювиальной россыпи 2-го лога.

ных минералов тугоплавких платиноидов, среди которых преобладают сульфиды рядов эрликманит-лаурит (рис. 3с, d) и кашинит-боуит. Для этих минералов характерно нахождение либо в виде изометричных зерен со скругленными границами, либо в виде мелких идиоморфных индивидов. Из процессов

замещения первичных Fe-Pt минералов Светлоборского интрузива было обнаружено только лишь развитие минералов группы тиошпинелей, формирующихся в ходе постмагматического преобразования дунитов и хромититов и дальнейших их изменений в зоне гипергенеза.

Таблица 1. Состав Fe-Pt минералов из россыпей и хромититов Светлоборского, Вересовоборского и Нижнетагильского интрузивов, по данным микрозондового анализа

Мас сив	№ ан.	Точка отбора	Элемент, мас.%								Сумма	Формула	
			Pt	Rh	Pd	Os	Ir	Ru	Fe	Ni			Cu
Нижнетагильский	1	А1, р. Рублёвик	83.92	0.78	0.21	—	2.41	0.35	10.66	0.34	1.32	99.99	(Pt _{1.92} Rh _{0.03} Pd _{0.01} Ir _{0.06} Ru _{0.02}) _{2.03} (Fe _{0.85} Ni _{0.03} Cu _{0.09}) _{0.97}
	2	Господская шахта	80.10	—	—	—	6.24	—	11.58	2.08	0.14	100.14	(Pt _{1.79} Ir _{0.14}) _{1.93} (Fe _{0.90} Ni _{0.15} Cu _{0.10}) _{1.07}
	3	Крутой лог 4-00	82.62	—	—	—	5.11	—	11.50	0.77	—	100.00	(Pt _{1.90} Ir _{0.12}) _{2.02} (Fe _{0.92} Ni _{0.06}) _{0.98}
	4	Del, р. Сисимка	75.9	0.34	0.46	—	—	0.34	18.43	1.12	2.75	99.34	(Pt _{0.98} Rh _{0.01} Pd _{0.01} Ru _{0.01}) _{1.01} (Fe _{0.83} Ni _{0.05} Cu _{0.11}) _{0.99}
	5	Господская шахта	75.42	—	—	—	2.48	—	12.24	7.52	2.04	99.70	(Pt _{0.99} Ir _{0.04}) _{1.03} (Fe _{0.96} Ni _{0.33} Cu _{0.08}) _{0.97}
	6	Крутой лог 4-00	75.52	—	—	—	—	—	15.51	7.42	2.15	100.60	Pt _{0.94} (Fe _{0.67} Ni _{0.31} Cu _{0.08}) _{1.06}
	7	Сырков лог	71.96	—	—	2.02	—	—	11.96	6.54	7.52	100.00	(Pt _{0.90} Os _{0.03}) _{0.92} (Fe _{0.52} Ni _{0.27} Cu _{0.29})
Вересовоборский	8	Del, р. Берёзовка	80.60	0.25	0.51	—	5.64	—	10.58	0.86	1.33	99.77	(Pt _{1.84} Rh _{0.01} Pd _{0.02} Ir _{0.13}) _{2.00} (Fe _{0.84} Ni _{0.07} Cu _{0.09})
	9	Канавы № 106	88.11	—	—	—	—	—	11.89	—	—	100.00	Pt _{2.04} Fe _{0.96}
	10	Канавы № 106	74.46	—	—	—	—	—	10.41	—	14.47	99.34	Pt _{0.96} (Fe _{0.47} Cu _{0.57}) _{1.04}
Светлоборский	11	А1, Травянистый лог	90.09	—	—	—	—	8.85	0.29	0.76	99.99	Pt _{2.90} (Fe _{0.99} Ni _{0.03} Cu _{0.08}) _{1.10}	
	12	А1, 2-ой лог	91.81	—	—	—	—	8.12	—	—	99.93	Pt _{3.06} Fe _{0.94}	
	13	Канавы № 079	92.25	—	—	—	—	7.63	—	—	99.88	Pt _{3.10} Fe _{0.90}	
	14	Канавы № 032	91.17	—	—	—	—	7.54	—	0.89	99.60	Pt _{3.03} (Fe _{0.88} Cu _{0.09}) _{0.97}	
	15	Крутой лог	91.18	—	—	—	—	8.82	—	—	100.00	Pt _{2.99} Fe _{1.01}	

Примечание: А1 — аллювиальная россыпь, Del — делювиальная россыпь. Ан. 1–3, 8, 9 пересчитаны на сумму 3 атомов (железистая платина); 4 — на сумму 2 атома (тетраферроплатина); 5–7 — на сумму 2 атома (ферроникельплатина); 10 — на сумму 2 атома (туламунит); 11–15 — на сумму 4 атома в элементарной ячейке (изоферроплатина). Прочерк — ниже предела обнаружения. Здесь и в табл. 2: сканирующий электронный микроскоп CamScan MX2500, оборудованный энерго-дисперсионными спектрометрами: Inca energy 250 u Link Pentafet (Oxford Instruments, Si(Li)). Аналитик: А.В. Антонов.

Таблица 2. Состав включений в Fe-Pt минералах Светлоборского и Вересовоборского интрузивов, по данным микрозондового анализа

№ ан.	Элемент, мас.%								Сумма	Формула
	Pt	Rh	Os	Ir	Ru	Fe	Cu	S		
1	—	—	66.75	—	7.1	—	—	26.15	100	(Os _{0.86} Ru _{0.17}) _{1.03} S ₂
2	—	3.31	66.2	—	3.73	—	—	26.28	99.52	(Os _{0.85} Ru _{0.09} Rh _{0.08}) _{1.02} S ₂
3	—	—	37	—	30.76	—	—	31.63	99.39	(Os _{0.39} Ru _{0.61}) _{1.01} S ₂
4	—	—	36.76	—	32.69	—	—	34.92	104.37	(Os _{0.36} Ru _{0.59}) _{0.95} S ₂
5	3.15	36.64	—	15.3	—	6.63	6.99	30.32	99.03	(Fe _{0.50} Cu _{0.47}) _{0.97} (Pt _{0.07} Rh _{1.51} Ir _{0.34}) _{1.91} S ₄
6	3.84	41.68	—	8.27	—	7.04	7.25	31.25	99.33	(Fe _{0.50} Cu _{0.47}) _{0.97} (Pt _{0.08} Rh _{1.66} Ir _{0.18}) _{1.92} S ₄
7	—	—	—	—	58.59	—	—	41.41	100.00	Ru _{0.89} S ₂
8	0.33	8.68	—	66.17	—	0.16	—	22.35	100.97	(Pt _{0.01} Rh _{0.37} Ir _{1.50} Fe _{0.01}) _{1.88} S ₃
9	0.18	30.59	—	41.46	0.14	0.14	—	23.89	98.60	(Rh _{1.09} Ir _{0.78} Ru _{0.01} Fe _{0.01}) _{1.89} S ₃
10	—	—	94.62	6.01	—	—	—	—	100.63	Os _{0.96} Ir _{0.04}
11	—	—	94.36	5.01	—	—	—	—	99.37	Os _{0.95} Ir _{0.05}

Примечание: 1 — эрикманит, аллювиальная россыпь Травянистый лог (Светлый бор); 2 — эрикманит, рудопроявление им. Н.К. Высокого (Светлоборский интрузив); 3, 4 — лаурит, аллювиальная россыпь 2-ой лог (Светлый бор); 5, 6 — боуит, канавы № 032, участок Вершинный (Светлоборский интрузив); 7 — лаурит, делювиальная россыпь р. Вересовки (Вересовый бор); 8, 9 — кашинит и боуит соответственно, канавы № 032, участок Вершинный (Светлоборский интрузив); 10, 11 — тридитный осмий, канавы № 106, вершина южной части Вересового бора. Ан. 1–4, 7 рассчитаны на S = 2 атома в формуле; ан. 5, 6 — на S = 4; ан. 8, 9 — на S = 3; ан. 10–11 — на один атом в формуле.

При изучении состава минералов элементов платиновой группы из клинопироксенит-дунитовых интрузивов, различающихся по геологическому строению, была выявлена серия отличительных черт. В Нижнетагильском и Вересовоборском интрузивах, характеризующихся широким развити-

ем грубозернистых дунитов, наибольшим распространением пользуются железисто-платиновые минералы ряда железистая платина (Pt₂Fe) — тетраферроплатина (PtFe). В среднем содержание Pt в железистой платине составляет 82–83 мас. % (табл. 1). Железистая платина, обнаруженная в породах и рудах

Вересовоборского интрузива, по сравнению с аналогичным минералом из Нижнетагильского интрузива, характеризуется повышенным содержанием платины (среднее — 85–86 мас.%). Из элементов платиновой группы постоянно в качестве изоморфных примесей отмечаются тугоплавкие платиноиды. Их количество в среднем составляет 1.5 мас.%, преобладает Ir. Содержание тугоплавких платиноидов в железистой платине выше в Вересовоборском интрузиве. Аналогичные особенности минералогии платины отмечаются и для россыпей, связанных с этими интрузивами, особенно в случае незначительного расстояния переноса платиновых минералов. Как и в коренных породах, среди Fe-Pt минералов в россыпях преобладают железистая платина, тетраферроплатина и ее медистые и никелистые разновидности.

Состав тетраферроплатины из коренных пород интрузивов с дунитовыми пегматитами и россыпями, связанных с этими интрузивами, значительно варьирует вследствие различного содержания Cu и Ni (табл. 1). Наблюдается непрерывный изоморфный ряд от тетраферроплатины до туламинита или ферроникельплатины. Для минералов платины Нижнетагильского интрузива в редких случаях содержание меди превышает 25 мас.% с образованием Cu-Pt сплавов со значительными вариациями компонентов. Аналогично железистой платине, среди примесей из элементов платиновой группы преобладают тугоплавкие платиноиды (в среднем до 2 мас.%) при повышенном содержании Ir. При изучении минералов группы тетраферроплатины-туламинита-ферроникельплатины для Вересовоборского и Нижнетагильского интрузивов значительных различий не установлено. Однако необходимо отметить, что широкое развитие медно-платиновых минералов является спецификой интрузивов дунит-клинопироксенитовой формации, в пределах которых выявлены тела грубозернистых дунитов и дунитовых пегматитов. Так, например, туламинит обнаружен в платиновых рудных зонах, связанных с грубозернистыми дунитами Гальмознанского интрузива в Корякии (Вильданова и др., 2002).

Ультраосновные массивы без дунитовых пегматитов отличаются преобладанием среди Fe-Pt соединений изоферроплатины. Минерал из хромитов Светлоборского интрузива, по данным микрозондового анализа, весьма близок к идеальному составу Pt₃Fe (табл. 1). Примеси элементов платиновой группы в изоферроплатине часто незначительны. Наибольшие концентрации отмечаются для Os

(до 1.2 мас.%) и Ir (до 1.7 мас.%). Содержание примесей меди и никеля также весьма незначительное. Из железо-платиновых минералов в качестве вторичного минерала по изоферроплатине преимущественно развивается тетраферроплатина. Абсолютное преобладание изоферроплатины среди железо-платиновых минералов отмечается в различных генетических типах россыпей, связанных с породами Светлоборского интрузива. Состав платины не меняется при переходе от элювиально-делювиальных россыпей с незначительным расстоянием переноса минералов к аллювиальным, где расстояние переноса минералов платины может составлять 50–70 км (Исовская россыпь).

Состав сульфидов тугоплавких платиноидов, находящихся в качестве включений в изоферроплатине, значительно варьирует. Минералы рядов лаурит — эрликманит и кашинит — боуит характеризуются зональным строением. Вокруг индивидов лаурита наблюдаются каймы, по составу соответствующие Os-содержащему лауриту или эрликманиту (табл. 2). Состав кашинита (табл. 2) изменяется от центра зерен к периферии с возрастом содержания боуитового минала. Минералы группы тиошинелей, по данным микрозондового анализа, представлены промежуточными членами ряда феррородсит — купрородсит. Относительно редко в железо-платиновых минералах Светлоборского интрузива встречаются Os-Ir сплавы. Для них характерно значительное развитие в хромититах Вересовоборского интрузива с преобладанием иридийского осмия (табл. 2).

Этапы формирования платинового оруденения

На начальной стадии формирования платинового оруденения происходит кристаллизация минералов тугоплавких платиноидов, преимущественно в виде хорошо ограненных индивидов. Если в строении интрузива принимают участие грубозернистые дуниты и дунит-пегматиты, из минералов тугоплавких платиноидов преобладают Os-Ir соединения (рис. 4а). Если грубозернистые дуниты не обнаруживаются среди пород интрузивов, то наиболее ранними минералами элементов платиновой группы являются разнообразные сульфиды тугоплавких платиноидов с широким развитием лаурита, эрликманита, кашинита и боуита (рис. 4б). По-видимому, эти минералы служат центрами кристаллизации для более поздних минералов платины и хромшпинелидов. В пользу этого предположения

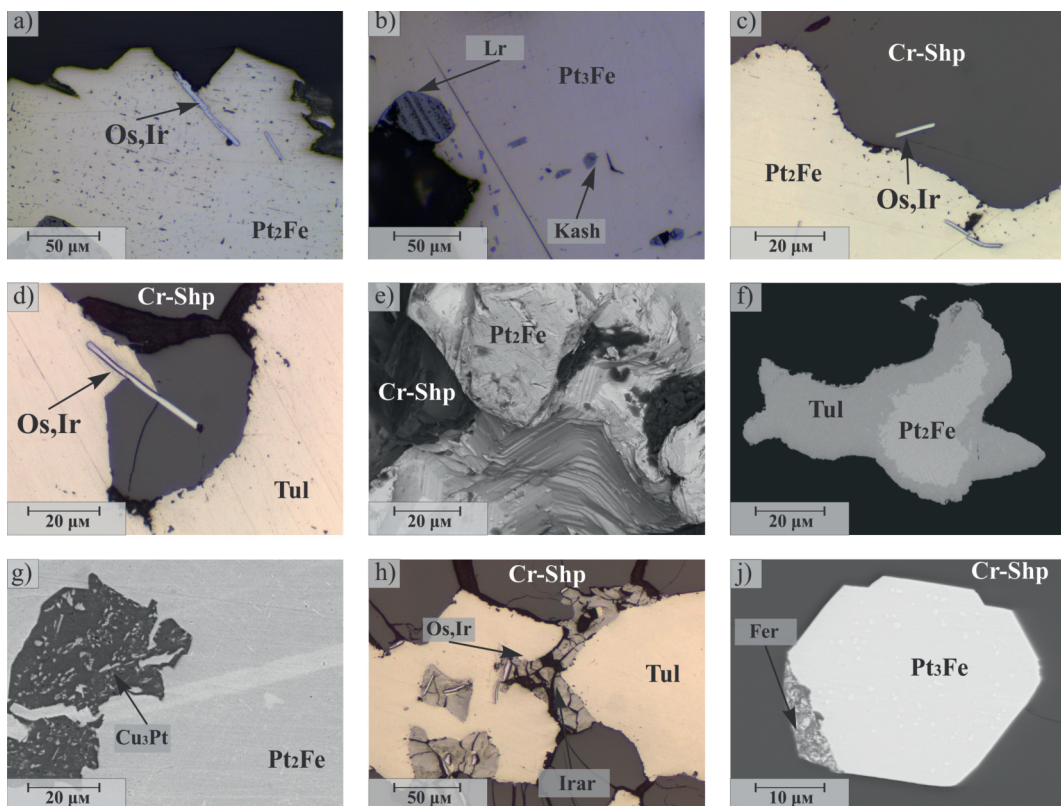


Рис. 4. Взаимоотношения минералов элементов платиновой группы в интрузивах клинопироксенит-дунитовой формации. а, б – идиоморфные выделения минералов тугоплавких платиноидов: а – осмистого иридия (Os,Ir) в железистой платине (Нижнетагильский интрузив); б – кашинита (kash) и лаурита (Lr) в изоферроплатине (Светлоборский интрузив); с, d – включения осмистого иридия: с – в хромшпинелиде (Cr-Shp); d – в хромшпинелиде и туламините (Вересовоборский интрузив); e – грубая индукционная штриховка на индивиде железистой платины, развитая по стенкам углублений, оставшихся после удаления зерен хромшпинелида (Нижнетагильский интрузив); f, g – замещение железистой платины туламинитом (f) и медно-платиновым сплавом (g); h – замещение туламинита ирарситом (Вересовоборский интрузив); j – замещение изоферроплатины феррородситом (Светлоборский интрузив). Pt₃Fe – изоферроплатина, Pt₂Fe – железистая платина, Cu₃Pt – неназванный медно-платиновый сплав, Tul – туламинит, Irar – ирарсит, Fer – феррородсит.

свидетельствует повсеместное, без исключений, нахождение Os-Ir соединений, лаурита, эрликманита в виде включений в Fe-Pt минералах и в редких случаях – в хромшпинелидах (рис. 4с, d).

За формированием минералов тугоплавких платиноидов следует образование различных Fe-Pt минералов – это стадия становления собственно платинового оруденения. В интрузивах с грубозернистыми дунитами первостепенное положение занимает железистая платина Pt₂Fe, в интрузивах без дунитовых пегматитов – изоферроплатина Pt₃Fe. В описываемых интрузивах образование Fe-Pt минералов тесно связано с формированием хромшпинелидов, на что указывает широкое развитие индукционных поверхностей между минералами платины и хромшпинелидами (рис. 4е).

Дальнейшие стадии минералообразования представляют собой преобразование первичных минералов платины с преобладанием процессов псевдоморфного замещения. По первичной железистой платине и изоферроплатине развиваются тетраферроплатина, туламинит и ферроникельплатина, а также медно-платиновые сплавы. Наблюдаются различные стадии развития процессов замещения; часто вторичные платиновые минералы формируют каймы вокруг ранних минералов (рис. 4f, g). Предположительно, образование Fe-Ni-Cu-Pt минералов связано с двумя процессами. Наибольшее влияние на развитие метасоматического замещения первичных платиновых минералов оказывает серпентинизация, происходящая как в стадию постмагматического преобразования пород интрузивов, так и при процессах выветривания. Вто-

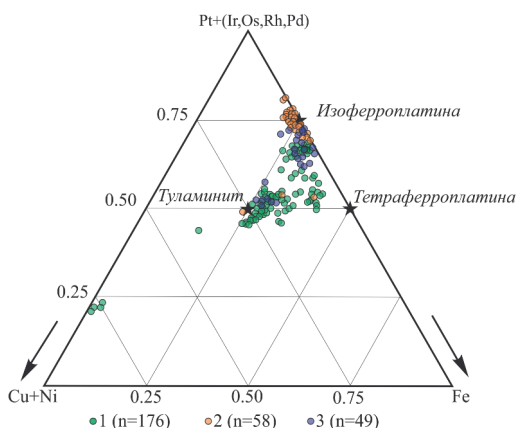


Рис. 5. Состав минералов платины из россыпей и коренных источников. Интрузивы: 1 – Нижнетагильский, 2 – Светлоборский, 3 – Вересовоборский; n – число анализов.

ростепенное значение имеет метаморфическое преобразование дунитов с перекристаллизацией оливина, проявленное преимущественно в краевых частях дунитовых ядер. При этом обычно формируется тетраферроплатина с невысоким содержанием Cu и Ni.

Наиболее поздними (возможно, гипергенными) минералами являются различные сульфиды и сульфоарсениды элементов платиновой группы. К их числу относятся ирарсит, ферродсит, феррорродсит (рис. 4h, j) и другие. Эти минералы встречаются преимущественно в виде тонко- и мелкозернистых агрегатов, замещающих различные минералы платины.

Обсуждение

В пределах интрузивов дунит-клинопироксенитовой формации Платиноносного пояса Урала развиты три главных типа платинового оруденения: дунитовый, пироксенитовый и хромит-платиновый. Непосредственное обнаружение значительных концентраций минералов платины в дунитах предполагалось еще с начала XX столетия (Высоцкий, 1913), однако реальное рудопроявление с дунитовым типом оруденения было выявлено только лишь в 2000-х годах (Телегин и др., 2009; Толстых и др., 2011), но и в настоящее время характер нахождения платины в дуните вызывает многочисленные вопросы. В том числе неясны и перспективы выявления крупных рудных объектов, связанных с дунитовым типом оруденения. Пироксенитовый тип также является слабо изученным, и обнаружение рудных зон и месторождений в пределах пироксенитовой каймы интрузивов маловероятно. Самый перспективный и детально описанный тип оруденения – хромит-платиновый.

С развитием хромитовых дунитов и хромититов могут быть связаны весьма крупные запасы платины (Иванов, 1997). Этот тип оруденения является сквозным, и хромит-платиновые рудные тела обнаруживаются в пределах интрузивов, аналогичных по своему строению как Светлоборскому интрузиву, так и Нижнетагильскому. Однако хромититы Светлоборского интрузива по набору минералов элементов платиновой группы кардинально отличаются от хромититов Нижнетагильского и Вересовоборского интрузивов.

Из наиболее значимых различий в особенностях развития минералов элементов платиновой группы необходимо отметить преобладание изоферроплатины в интрузивах без грубозернистых дунитов и дунитовых пегматитов (Светлоборский интрузив) и широкое развитие железистой платины (рис. 5) в интрузивах с грубозернистыми дунитами и дунит-пегматитами (Нижнетагильский и Вересовоборский интрузивы). Минеральный состав включений в платине также имеет ряд существенных отличий. В изоферроплатине преобладают включения сульфидов тугоплавких платиноидов, в то время как в железистой платине обычно встречаются Os-Ir минералы со значительной вариацией содержания компонентов. Развитие вторичных минералов по первичным Fe-Pt минералам также различно. В породах Вересовоборского и Нижнетагильского интрузивов первичные минералы платины метасоматически замещаются туламинитом и ферроникельплатиной. Развитие туламинита по железистой платине отмечено и в зоне развития грубозернистых дунитов в пределах Гальмознанского интрузива в Корякия (Вильданова и др., 2002; Сидоров и др., 2012). Для изоферроплатины из Светлоборского интрузива отмечается замещение тетраферроплатиной. К наиболее поздней ассоциации вторичных минералов, возможно, формирующейся в гипергенных условиях, относятся различные сульфиды и сульфоарсениды платины и других элементов платиновой группы. Различия в развитии и преобладании тех или иных минеральных видов в коренных породах наследуются при переходе минералов в россыпи различных генетических типов.

Преобладание определенных минералов элементов платиновой группы в разных типах оруденения в дунит-клинопироксенитовых интрузивах согласуется с особенностями их строения. Вероятно, что наибольшее влияние на минерало- и рудогенез оказывает процесс пегматитообразования в дунитах. Также

стоит отметить, что при анализе потенциальной рудоносности наиболее перспективными комплексами из числа дунит-клинопироксенитовых интрузивов Платиноносного пояса Урала на выявление крупных месторождений с хромит-платиновым оруденением являются интрузивы с развитием грубозернистых дунитов и дунит-пегматитов.

Заключение

При проведении исследования были охарактеризованы минералы элементов платиновой группы из хромит-платиновых рудных зон Светлоборского, Вересовоборского и Нижнетагильского интрузивов и связанных с ними россыпей. Для Светлоборского и Вересовоборского интрузивов детальное минералогическое описание коренного хромит-платинового оруденения приводится впервые. Наиболее важной установленной закономерностью является преобладание среди первичных железо-платиновых минералов Светлоборского интрузива изоферроплатины. В то время как для Вересовоборского и Нижнетагильского массивов характерно широкое развитие железистой платины и минерала, промежуточного по составу между железистой платиной и изоферроплатиной. При этом для изоферроплатины из Светлоборского интрузива почти не характерно замещение поздними железо-платиновыми минералами. Однако железистая платина Вересовоборского и Нижнетагильского интрузивов нередко замещается минералами группы тетраферроплатина-туламинит-никельферроплатина. Также в ходе работ выявлена особенность, отличающая Светлоборский интрузив от других зональных клинопироксенит-дунитовых комплексов Урала — широкое развитие минералов сульфидов Os, Ru, Ir и Rh, находящихся в качестве включений в железо-платиновых минералах.

Данные о преобладании тех или иных железо-платиновых минералов, а также включений в них тесно коррелируют с особенностями геологического строения интрузивов, в частности, со степенью развития грубозернистых дунитов и дунитовых пегматитов. Необходимо заметить, что интрузивы с развитием дунитовых пегматитов имеют значительный промышленный потенциал на обнаружение коренных месторождения платины. Выявленные минералогические особенности оруденения в интрузивах могут найти широкое применение при проведении поисково-оценочных работ в условиях ограниченного количества геологической информации.

Литература

- Вильданова Е.Ю., Зайцев В.П., Кравченко Л.И.* Корякско-Камчатский регион — новая платиноносная провинция России. СПб: СПб картфабрика ВСЕГЕИ. **2002.** 383 с.
- Виноградская Г.М.* Дунит-пегматиты ультраосновной формации на Урале // Докл. АН СССР. **1954.** Т. 97. № 5. С. 899—902.
- Высоцкий Н.К.* Месторождения платины Нижнетагильского и Исовского районов на Урале // Тр. Геол. комитета. **1913.** Вып. 62. 696 с.
- Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Уральский ун-т. **1997.** 488 с.
- Козлов А.П., Чантурия В.А., Сигоров Е.Г., Толстых Н.Д., Телегин Ю.М.* Крупно-объемные рудные месторождения платины в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-алаянского типа и перспективы их освоения // Геол. рудн. месторожд. **2011.** Т. 53. № 5. С. 419—437.
- Мосин К.С.* История добычи платины на Урале. Нижняя Тура: Нижнетуруинская типография. **2002.** 245 с.
- Пушкарев Е.В., Аникина Е.В., Гарути Дж., Закарини Ф.* Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: Структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса // Литосфера. **2007.** № 3. С. 28—65.
- Сигоров Е.Г., Козлов А.П., Толстых Н.Д.* Гальмоэманский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность. М.: Научный мир. **2012.** 288 с.
- Столяров С.А.* Петрофизическая зональность центральной части Кондёрского и Нижнетагильского массивов и особенности минерализации платиноидов // Геологи XXI века. Мат. Всерос. научн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов. Саратов: СО ЕАГО. **2002.** С. 120—123.
- Телегин Ю.М., Телегина Т.В., Толстых Н.Д.* Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушенского массивов Платиноносного пояса Урала // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Мат. третьей межд. конф. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН. **2009.** Т. 2. С. 212—215.
- Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П.* Коренная платина Светлоборского и Каменушенского массивов Платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика. **2011.** Т. 52. № 6. С. 775—793.