

МИНЕРАЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ИЗ РОССЫПИ КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВОГО МАССИВА ФИЛИППА (Камчатка)

Е.Г. Сидоров, Н.Д. Толстых*, М.Ю. Подлипский*, И.О. Пахомов**

Институт вулканологии ДВО РАН, 683000, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пуйна, 9, Россия

** Институт геологии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

*** РГПУ им. А.И. Герцена, 191186, Санкт-Петербург, наб. Мойки, 48, Россия*

Изучена ассоциация минералов элементов платиновой группы (МПГ) из россыпи р. Майор, приуроченной к массиву Филиппа, относящемуся к зональным массивам уральско-алейского типа. Породы массива дуниты, верлиты и клинопироксениты, питающие россыпи, обогащены иридиевой специализацией примесей. Отличительной особенностью ассоциации МПГ является присутствие в россыпи зерен самородного иридия (20 %). Среди включений в изоферроплатине распространены сульфиды, арсениды, сульфидарсениды, антимониды ЭПГ. Отмечаются все разновидности системы ЭПГ тиошпинелей, в том числе Pb- и Co-содержащих. Холлингвортит $RhAsS$ содержит высокую примесь Sb (15,7 мас. %). Широко проявляются изоморфные ряды маланит—карролит $CuPt_2S_4—CuCo_2S_4$ (до 47 мол. %), кашинит—баунит $Ir_2S_3—Rh_2S_3$ и резе лаурит—эрликманит $RuS_2—OsS_2$. Во включениях отмечаются ЭПГ-содержащие твердые растворы Mss и Iss, а также редко встречающиеся минералы родарсенид $(Rh,Pd,Pt)_2As$, полкановит $Rh_{12}As_7$, генкинит $(Pt,Pd)_4Sb_3$, штумпфлит $PtSb$, мертинит II $(Pd,Pt)_8Sb_3$ и unnamed фазы, такие как $IrAs(Sb,S)$, $Pt(As,Sb,S)$, $(Rh,Pt,Os,Fe)_2(S,As)_3$ и $(Fe,Cu)(Pd,Pt)_3(S,Sb,As)_3$. Сделан вывод о том, что рудно-формирующая система источника исследуемой ассоциации МПГ из россыпи р. Майор, а именно, массив Филиппа характеризовался иридиевой специализацией рудоформирующей системы на раннемагматическом этапе и повышенной активностью S и As во время постмагматических преобразований Pt-Fe сплавов. Спецификой рудоформирующей системы массива Филиппа на позднем этапе эволюции является обогащение ее Pb и Co.

Минералы ЭПГ, россыпь, уральско-алейский тип, рудно-формирующая система.

PLACER PGE MINERALS FROM THE FILIPPA CLINOPYROXENITE-DUNITE MASSIF (Kamchatka)

E.G. Sidorov, N.D. Tolstykh, M.Yu. Podlipsky, and I.O. Pakhomov

Study is given to association of PGE minerals from the Maior Brook placer in the Filippa zoned massif of the Ural-Alaskan type. The massif rocks feeding placers (dunites, wehrlites, and clinopyroxenites) are seriously crushed and metasomatized. The PGE minerals are dominated by Ir-rich Pt-Fe alloys. The PGE mineral association involves native iridium grains (20%). The isoferroplatinum bears inclusions of PGE sulfides, arsenides, sulfidoarsenides, and antimonides. There are also all varieties of PGE-thiospinels, including Pb- and Co-bearing ones, hollingworthite $RhAsS$ with up to 15.7 wt. % Sb, and malanite-carrollite $CuPt_2S_4—CuCo_2S_4$ (up to 47 mol. %), kashinite-bowellite $Ir_2S_3—Rh_2S_3$, and, more seldom, laurite-erlichmanite $RuS_2—OsS_2$ isomorphous series. Their inclusions bear PGE-containing Mss and Iss solid solutions as well as rare minerals such as rhodarsenide $(Rh,Pd,Pt)_2As$, polkanovite $Rh_{12}As_7$, genkinite $(Pt,Pd)_4Sb_3$, stumplite $PtSb$, mertieite II $(Pd,Pt)_8Sb_3$, and unnamed phases $IrAs(Sb,S)$, $Pt(As,Sb,S)$, $(Rh,Pt,Os,Fe)_2(S,As)_3$, and $(Fe,Cu)(Pd,Pt)_3(S,Sb,As)_3$. The conclusion is drawn that the ore-forming system of the source-rock of the studied mineral association, namely, the Filippa massif, had mainly an iridium composition at the early magmatic stage and showed high activities of S and As during the postmagmatic transformations of Pt-Fe alloys. At the late evolution stage, the system became enriched in Pb and Co.

PGE minerals, placer, Ural-Alaskan type, ore-forming system

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР МАССИВА ФИЛИППА

Концентрически-зональный клинопироксенит-дунитовый массив Филиппа расположен в южной части Корякско-Камчатского платиноносного пояса в пределах Срединно-Камчатского выступа метаморфических пород. Массив является источником золото-платиновой россыпи ручья Майор, являющегося притоком р. Капитанская и дренирующего массив в его западной части. Массив изучался ранее при геолого-съёмочных и тематических работах А.Ф. Марченко (1972 г.) и В.И. Сидоренко (1984 г., 1999 г.), Б.К. Долматовым (1976 г.), В.А. Полетаевым (1981 г.), Е.Г. Сидоровым и др. (2001 г.). В процессе специализированных исследований были получены первые составы минералов ЭПГ из склоновой и аллювиальной россыпи: Pt-Fe и Os-Ir-Ru сплавы, куперит, брэггит, сперриллит, кашинит, лаурит и Au-Ag-Cu [1] и сделан вывод о специфике золото-платиновой минерализации, возникшей при сочетании условий базитового магматизма и наложенного метаморфизма.

Массив Филиппа (рис. 1) вытянут в субширотном направлении на 8—10 км при ширине выходов 2—2,5 км с общей площадью около 18 км². Эрозионным срезом он вскрыт на глубину 700—800 м.

© Е.Г. Сидоров, Н.Д. Толстых, М.Ю. Подлипский, И.О. Пахомов, 2004

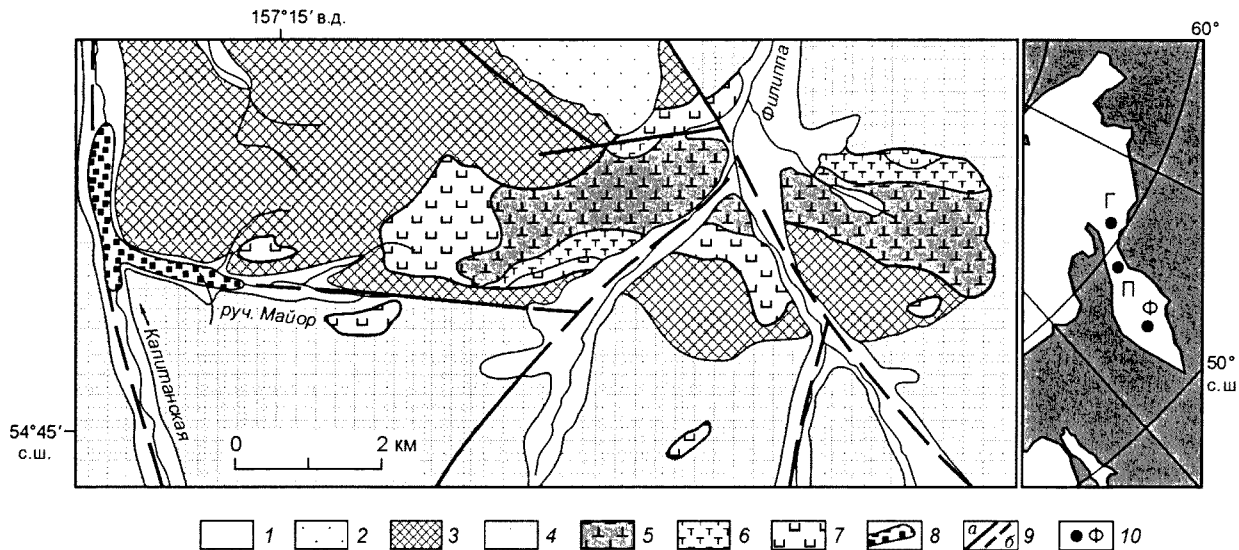


Рис. 1. Схема геологического строения массива Филиппа. На врезке — положение массива в пределах Корьякско-Камчатского платиноносного пояса.

1 — рыхлые четвертичные отложения; 2 — конгломераты и гравелиты (P); 3 — хлорит-актинолитовые сланцы, амфиболиты ($K_{1,2}$); 4 — кристаллические сланцы, филлиты ($K_{1,2}$); 5 — дуниты; 6 — верлиты, оливиновые клинопироксениты; 7 — магнетит-биотитовые клинопироксениты, горнблендиты; 8 — золото-платиновая россыпь; 9 — тектонические нарушения (а — достоверные, б — предполагаемые); 10 — платиновые россыпи в пределах Камчатского платиноносного пояса: Ф — Филиппа, П — Пустая, Г — Гальмознан.

Вмещающими массив породами являются актинолит-хлоритовые сланцы и амфиболиты химкинской свиты, а также филлиты и сланцы хейванской свиты мелового возраста. Породы рамы имеют преимущественно субширотное простирание и погружаются в северном направлении. В северо-западной части массива и вмещающие его метаморфические образования перекрыты толщей переслаивающихся конгломератов и гравелитов барабской свиты палеогенового возраста. Определение возраста пород массива, выполненные К-Аг методом по слюде, составляют 59 млн лет, однако многие исследователи считают, что образование флогопита обязано процессам щелочного метасоматоза, происшедшим после образования и внедрения массива [2].

Дуниты слагают центральную, существенно эродированную часть массива и приурочены к наиболее низким гипсометрическим его уровням. Оливины дунитов частично серпентинизированы, с признаками пластических деформаций и представлены разновидностями состава Fo_{86-90} . Содержание хромшпиннелида в дунитах не превышает 5—7 %, и он не образует рудных тел. Состав его значительно варьирует от высокохромистых хромпикотитов (Cr_2O_3 до 50 мас.%) до хроммагнетитов. Отдельные участки дунитов обогащены клинопироксеном — от неравномерно распространенных кристаллов диопсида до их гнезд и прожилков, в которых также нередки выделения флогопита. В дунитах отмечаются многочисленные и разноориентированные жилы диопсидитов с резкими контактами и мощностью от первых сантиметров до 1—1,5 м. Различаются как средне- и крупнозернистые разновидности диопсидитов, так и диопсидовые пегматоиды с размером кристаллов клинопироксена до 10—20 см, и единичными кристаллами флогопита до 2—3 см в поперечнике. С возрастанием количества диопсида наблюдаются постепенные переходы дунитов в верлиты и оливиновые клинопироксениты, содержащие реликты дунитов. Верлиты и оливиновые клинопироксениты слагают относительно маломощные зоны на границе дунитов и пироксенитов. Они характеризуются присутствием оливина повышенной железистости Fe_{83-85} , переменным количеством клинопироксена (диопсида), хроммагнетита, магнетита и биотита.

Пироксениты различаются по зернистости с преобладанием мелкозернистых разновидностей в краевых эндоконтактовых зонах. На отдельных участках пироксениты существенно обогащены слюдой и приближаются по составу к пироксеновым слюдитам с заметным количеством апатита. В отдельных пироксенитах количество магнетита достигает 30 % с образованиями сидеронитовых структур. В краевых частях массива характерно обогащение пироксенитов амфиболом с постепенным переходом к клинопироксеновым горнблендитам. В северной части массива Филиппа отмечаются выходы эссекситов, горнблендитов и ассоциирующих с ними калиевых метасоматитов.

Массив разбит разрывными нарушениями на многочисленные блоки, при этом все разновидности пород массива интенсивно раздроблены, перемяты и рассланцованы, что особо характерно для эндокон-

тактовых зон. К сильно метаморфизованным разностям ультрамафитов, представляющих собой биотит-эпидот-альбит-хлорит-амфиболовый агрегат, приурочена находка обломка монокристалла алмаза, размером $0,25 \times 0,2$ мм [2].

В результате незначительных по объему специализированных работ по поискам золота и платины в пределах массива не получен однозначный ответ на вопрос об их коренном источнике. Источник золота мог быть полигенным, однако часть его, возможно, обязана породам массива, на что указывают повышенные содержания золота (6,48 г/т), установленные в верлитах [3]. Изучение типоморфных особенностей золота из россыпи позволило установить наличие здесь многочисленных минеральных фаз системы Cu—Au, которые широко развиты в разнообразных базит-гипербазитовых комплексах в ассоциации с МПГ [4]. Источником платины в россыпи, вероятно, являются серпентинизированные дуниты с вкрапленностью хромшпинелидов, а также биотитовые клинопироксениты, в которых методом спектрального сцинтилляционного анализа (С.И. Прокопчук, г. Иркутск) установлено содержание суммы ЭПГ до 0,65 г/т.

По сравнению с существенно платиновыми россыпями Корякии, россыпь ручья Майор и долины р. Капитанская является золото-платиновой. Массив Филиппа относится к россыпеобразующим концентрически-зональным интрузивам уральско-аляскинского типа и является составной частью Корякско-Камчатского платиноносного пояса. Минеральная ассоциация из россыпи, связанной с этим массивом, отличается от остальных россыпных проявлений пояса рядом признаков, изучение которых позволит оценить особенности рудоформирующей системы коренного источника в целом.

МОРФОЛОГИЯ ЗЕРЕН МПГ

Зерна платиновых минералов из шлихового ореола массива Филиппа имеют уплощенную, изометричную и округлую форму (рис. 2, а). Встречаются также комковатые, неправильные, слабоокатанные индивиды (см. рис. 2, б). По размеру преобладают зерна менее 0,5 мм, реже достигающие 1,5—2 мм. Они характеризуются серебристо-белым до серого цветами и шагреневой поверхностью. Часть зерен покрыта черной пленкой. Выборка МПГ из тяжелого концентрата шлиха по валовому составу отличается от таковой из других россыпей Корякско-Камчатского региона. Наряду с Pt-Fe сплавами, которые преобладают в россыпи массива Филиппа, значительную долю (~20 %) составляют зерна самородного иридия или высокоиридистого осмия, тогда как в большинстве других россыпей, связанных с концентрически-зональными массивами, иридий вообще отсутствует в качестве самостоятельных фаз (Восточный Мадагаскар, Эквадор и Папуа Новая Гвинея [5—7]) или обнаружены его единичные зерна (россыпи рек Инагли и Пустая [8, 9]). Чаше он встречается в виде включений или структур распада в изоферроплатине, как в россыпях Юбдо, Инагли, Дюранс и Файфилд [10—13]. Кроме платиножелезистых сплавов и самородного иридия в россыпи р. Майор присутствуют отдельные зерна других минералов ЭПГ: антимонидов и станнидов Pd, а также сперрилита. Остальные МПГ представлены включениями или каймами в Pt-Fe сплавах.

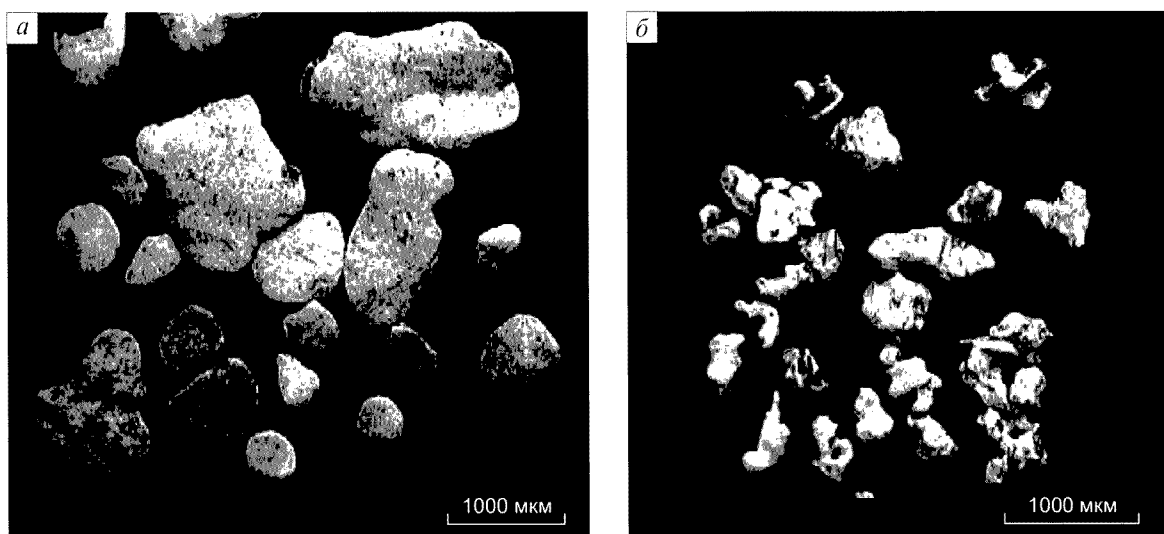


Рис. 2. Морфология зерен платиножелезистых сплавов.

а — уплощенные, б — комковатые неправильной формы.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ ЭПГ

Составы минералов ЭПГ получены на микроанализаторе Camebax Micro в Институте геологии СО РАН (аналитик Л.Н. Пospelова) при напряжении 20 кВ, текущем токе 20—30 мА и длительности измерения 10 с на каждой аналитической линии. В качестве стандартов для Pt, Ir, Os, Pd, Rh и Ru были использованы чистые металлы: для Cu, Fe, S — CuFeS_2 , для As — InAs, для Ni и Co — FeNiCo и для Sb — CuSbS_2 . Выбраны следующие рентгеновские линии: L_α для Pt, Ir, Pd, Rh, Ru, As, Sb; K_α для S, Fe, Cu, Co, Ni; M_α для Os. Наложение рентгеновских спектров элементов корректировались с помощью программы, использующей экспериментально рассчитанные коэффициенты [14]. Все данные в таблицах приведены с учетом пределов обнаружений.

СОСТАВ МИНЕРАЛОВ ЭПГ

Интерметаллиды системы Pt—Fe—Cu. Pt-Fe сплавы по концентрации в них Fe в соответствии с классификацией Кабри и Фишера [15] относятся к трем минеральным видам: изоферроплатине, самородной платине с меньшим содержанием Fe и железистой платине с концентрацией Fe более чем 25 ат.%. Преобладает изоферроплатина, тогда как последние две группы представлены единичными анализами. Платина с повышенной концентрацией Cu была отмечена в трех случаях. Один из составов Pt-Fe-Cu сплавов является туламинитом Pt_2CuFe , два других имеют промежуточный состав между изоферроплатиной и хонгшитом PtCu (рис. 3). Для платиножелезистых сплавов характерны примеси других элементов платиновой группы (табл. 1), среди которых преобладает Ir. По содержанию Ir платина разбивается на две выборки: низкоиридистую, в которой Ir не превышает 1 мас.%, и платину с повышенным содержанием Ir (до 10,14 мас.%). Наблюдается отрицательная корреляция между концентрациями Pt и Ir (рис. 4, а). Концентрация Rh не превышает 3,42 мас.% (см. рис. 4, б), а содержание Pd достигает 2,11 мас.% (см. рис. 4, в). Для последних двух элементов корреляция с Pt отсутствует. Элементы Ru и Os содержатся в платине в незначительных количествах.

Минералы системы Os—Ir—Ru. Минералы этой системы представлены двумя минеральными видами: осмием и иридием, особенностью которых является низкая концентрация в них Ru. При этом осмий подразделяется на две генерации. К одной относится осмий с высокой концентрацией Ir, который совместно с самородным иридием присутствует в россыпи в виде самостоятельных индивидуальных зерен. Другая генерация осмия представлена „высокопробным“ осмием, в котором примеси других ЭПГ составляют (мас.%): Pt до 3,34, Ir до 1,86 и Ru до 0,76 (табл. 2). Такой осмий находится исключительно в виде мелких включений (10—20 мкм) в Pt-Fe сплавах (рис. 5, а).

Иридий характеризуется переменным составом. Он содержит до 9,91 мас.% Ru и до 6,75 мас.% Pt (табл. 2).

Сульфиды ЭПГ. Сульфиды, арсениды и сульфоарсениды ЭПГ являются второстепенными минералами исследуемой россыпи и встречаются преимущественно в виде мелких включений, выделений, заполняющих изолированные пустоты или трещинки в Pt-Fe сплавах. Характер проявления этих минералов свидетельствует об их более позднем образовании по сравнению со сплавами ЭПГ. Совокупность второстепенных, поздних минералов аналогична таковым из других источников аляскинского или уральского типов [8, 16—19]. Сюда входит широкий спектр сульфидов, относящихся к классу тиошпинелей, а также минералы ряда кашинит-бауит, куперит и моносульфидный твердый раствор Mss, составы которых показаны на рис. 6. Все эти минералы, как и серия редких или неназванных фаз, характеризует геохимическую специализацию рудоформирующей системы.

Куперит PtS. Характерной особенностью изученного концентрата платиновых минералов из россыпи массива Филиппа является широкое развитие зональных реакционных кайм вокруг Pt-Fe сплавов, представленных куперитом и сперрилитом. Как правило, PtS слагает внутреннюю кайму, а PtAs_2 — внешнюю (см. рис. 5, б—г). В случае отсутствия какой-либо из них, платину замещает либо только куперит (см. рис. 5, д), либо сперрилит (см. рис. 5, и). Иногда встречается и переслаивание каемок (рис. 7, а, б), свидетельствующее о неравновесности условий или нестабильности флюидного режима в процессе замещения платиновых сплавов в локальных зонах. Но в целом для большинст-

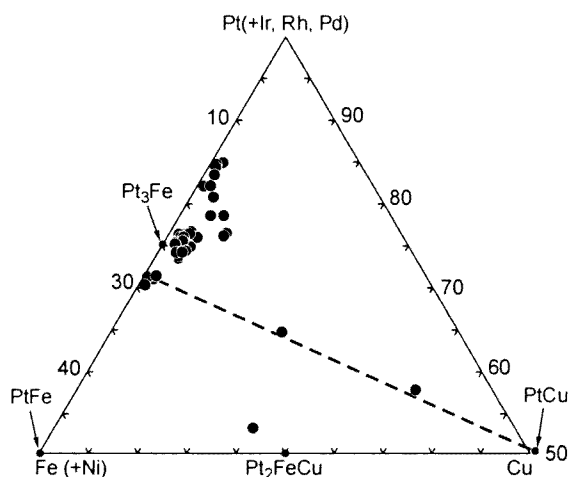


Рис. 3. Распределение основных компонентов в Pt-Fe и Pt-Fe-Cu сплавах (ат.%).

Таблица 1.

Состав Pt-Fe сплавов, мас. %

№ п/п	Pt	Pd	Os	Ir	Rh	Ru	Fe	Cu	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	92,05	0,78	1,14	0,36	1,13	0,25	4,69	0,46	100,90
2	90,72	0,28	0,97	0,13	1,53	0,13	4,88	0,29	98,93
3	90,95	0,49	0,81	0,00	1,14	0,07	5,14	0,36	98,96
4	90,24	0,94	0,83	0,05	1,33	0,12	5,59	0,51	99,62
5	89,36	0,69	0,50	0,14	1,37	0,14	5,72	0,88	98,80
6	88,05	0,85	0,29	0,71	2,00	0,14	5,74	0,29	98,07
7	87,37	0,54	0,21	3,95	0,92	0,00	5,90	1,73	100,66
8	84,17	2,08	0,04	2,77	0,87	0,06	6,20	2,32	98,51
9	84,01	2,11	0,01	2,95	0,89	0,00	6,37	2,31	98,65
10	85,95	1,31	0,06	0,11	3,42	0,33	6,47	1,26	98,91
11	86,28	0,25	0,00	2,54	0,55	0,00	7,21	1,21	98,03
12	88,53	0,97	0,24	0,29	1,38	0,11	7,46	0,87	99,84
13	88,48	0,64	0,00	0,63	0,99	0,09	7,51	0,87	99,21
14	85,32	1,01	0,05	2,65	0,97	0,06	7,60	0,80	98,47
15	86,83	0,36	0,00	2,64	0,37	0,00	7,61	0,79	98,63
16	86,97	0,93	0,16	1,90	0,79	0,08	7,76	0,65	99,26
17	85,04	0,64	0,00	3,15	1,37	0,11	7,79	0,70	98,80
18	88,63	0,49	0,00	0,75	0,22	0,05	7,79	0,80	98,74
19	86,80	0,68	0,00	1,89	0,96	0,09	7,81	0,62	98,85
20	88,88	0,05	0,10	0,34	0,38	0,08	7,88	0,87	98,58
21	86,79	0,62	0,11	2,89	0,61	0,00	7,88	0,90	99,84
22	88,69	0,31	0,06	0,54	1,23	0,13	7,88	1,22	100,06
23	87,87	0,41	0,14	2,51	0,45	0,00	7,89	0,46	99,75
24	87,30	0,35	0,01	1,98	0,57	0,00	7,89	0,54	98,64
25	87,83	0,66	0,11	2,25	0,95	0,07	7,89	0,67	100,42
26	82,21	0,48	0,40	6,42	0,91	0,12	7,90	0,45	98,90
27	83,66	1,28	0,02	4,08	0,84	0,00	7,92	0,72	98,52
28	87,52	0,88	0,43	0,21	1,54	0,00	7,95	0,81	99,40
29	86,94	0,69	0,00	1,88	0,58	0,07	7,96	0,82	98,94
30	88,54	0,36	0,02	0,00	0,67	0,06	8,09	1,10	98,85
31	89,61	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12	0,48	98,57
32	87,05	0,32	0,00	0,42	0,96	0,05	8,15	0,97	97,92
33	87,06	0,50	0,00	2,50	0,56	0,06	8,17	0,55	99,40
34	88,18	1,69	0,00	0,17	0,28	0,06	8,20	0,79	99,36
35	88,39	0,23	0,09	0,13	0,56	0,00	8,20	0,85	98,43
36	87,17	0,37	0,14	2,37	0,45	0,00	8,23	0,51	99,24
37	89,39	0,19	0,00	0,00	0,08	0,00	8,37	0,76	98,80
38	87,69	0,07	0,04	0,16	0,51	0,09	8,41	0,99	97,97
39	89,87	0,00	0,02	0,00	0,14	0,00	8,43	0,91	99,36
40	75,94	0,00	0,15	10,14	0,72	0,18	9,76	0,47	97,36
41	86,27	0,00	0,08	0,00	0,77	0,00	9,93	0,45	97,55
42	83,69	0,05	0,05	3,83	0,09	0,00	10,07	0,18	97,95
43	85,28	0,00	0,06	1,43	0,04	0,05	10,31	0,26	97,43
44	83,10	0,00	0,00	0,00	0,14	0,09	6,70	7,32	97,35
45	76,41	0,10	0,00	0,39	0,45	0,00	11,24	9,64	98,23
46	76,59	0,69	0,00	0,61	1,05	0,00	3,18	15,64	97,94

Примечание. 1—43 — Pt-Fe сплавы, 44—46 — Pt-Fe-Cu сплавы.

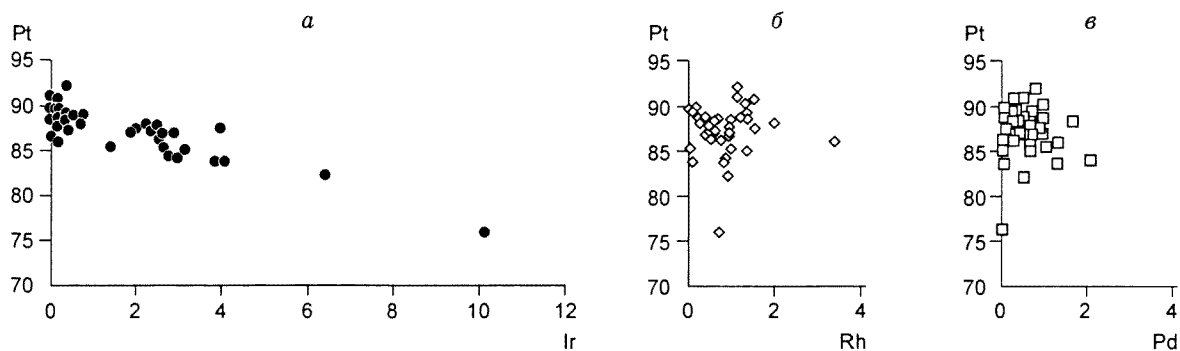


Рис. 4. Распределение элементов-примесей в Pt-Fe сплавах (мас. %).

a—в — пояснения в тексте.

ва зерен чередование кайм в определенной последовательности указывает на эволюцию рудопреобразующих флюидов и смены в них роли S в пользу As. Подобный характер замещения Pt-Fe сплавов сульфидом, а затем арсенидом платины широко проявлен в нескольких россыпях Алтае-Саянской складчатой области: Каура, Каурчак, Тюленевский [20], а также отмечался в россыпи р. Пустая [8] и на р. Сантьяго в Эквадоре [6].

Каймы куперита и сперрилита образуются по изоферроплатине вплоть до полного ее замещения. В куперите значимой является только примесь Pd (до 4,4 мас. %), остальные элементы либо отсутствуют, либо находятся на уровне пределов обнаружения (табл. 3).

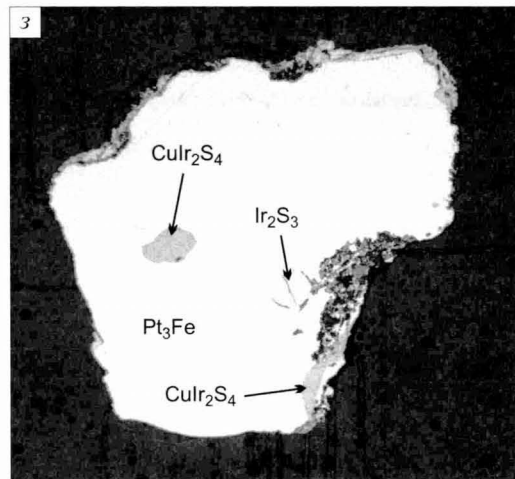
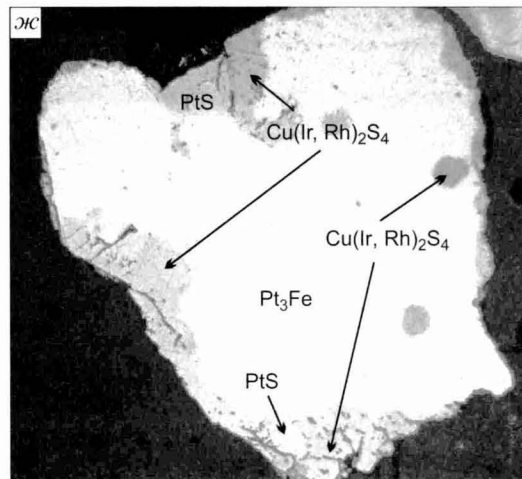
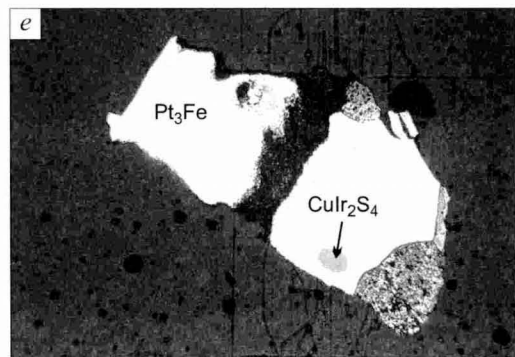
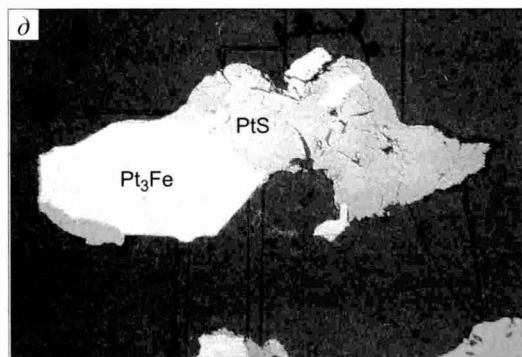
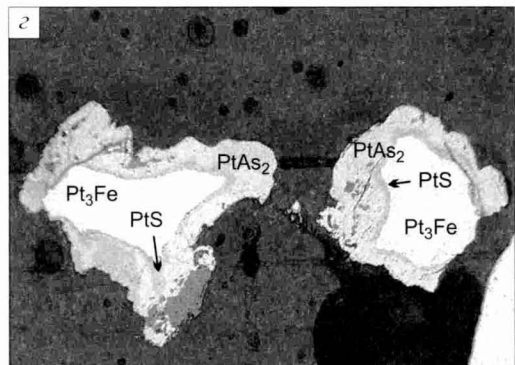
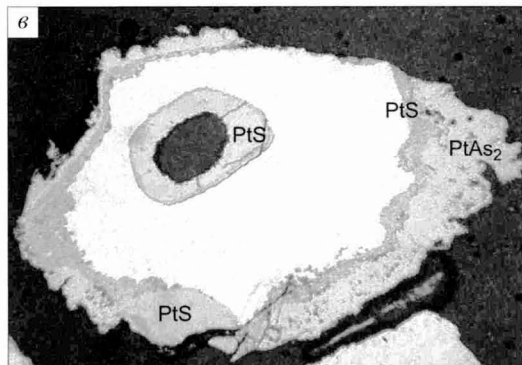
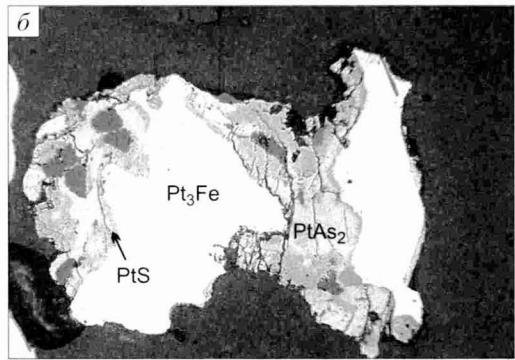
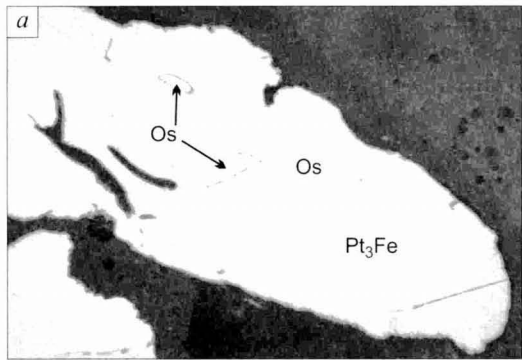
Тиошпинели ЭПГ. К тиошпинелям ЭПГ относятся минералы переменного состава с общей формулой $(Cu,Fe)(Pt,Ir,Rh)_2S_4$. Они образуют изометричные включения или выделения неправильной формы, приуроченные к краю зерен изоферроплатины (см. рис. 5, e, ж, з). Установлены все разновидности минералов этой системы купрородсит, купроиридсит и маланит (рис. 8, a). *Купрородсит* $CuRh_2S_4$ содержит Pt до 25,94 мас. % (см. табл. 3), маланитовый минал в нем составляет 25—35 мол. % (см. рис. 8, a). Cu частично замещается Fe, иногда до преобладания феррородситовой составляющей (5,5 мас. % железа, см. табл. 3). Концентрация Ir в купрородсите достигает 37,1 мас. %. *Купроиридсит* $CuIr_2S_4$ включает в себя в значительных количествах как маланитовый, так и купрородситовый миналы. Примесь Fe в купроиридсите достигает 4,4 мас. %. *Маланит* $CuPt_2S_4$ содержит до 47 мол. % купроиридситового компонента. Составы вышеописанных тиошпинелей являются типичными для ассоциаций минералов платиновых россыпей, а также для парагенезисов, связанных с офиолитовыми гипербазитами и расслоенными интрузиями [11, 21—24]. Однако в россыпи массива Филиппа обнаружен Со-содержащий маланит, который отличается от других тиошпинелей не только составом, но и условиями проявления. Маланит с концентрацией Со 1,6 мас. % был известен в расслоенной интрузии Имандра [23], а также описан ранее в россыпи массива Филиппа [25]. Выделения этого минерала встречены в парагенезисе с поздними реакционными минера-

Таблица 2.

Состав Os-Ir-Ru сплавов, мас. %

№ п/п	Pt	Os	Ir	Rh	Ru	Fe	Ni	Сумма
1	1,03	98,12	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	99,19
2	3,34	96,65	0,00	0,57	0,38	0,00	0,00	100,95
3	1,17	96,41	0,03	0,06	0,08	0,00	0,00	97,75
4	1,20	96,87	0,09	0,41	0,51	0,00	0,00	99,08
5	2,04	93,70	1,86	0,41	0,76	0,00	0,00	98,76
6	0,24	57,48	36,82	0,09	2,97	0,20	0,00	97,80
7	0,48	54,83	38,87	0,09	4,93	0,25	0,06	99,51
8	6,75	31,47	59,49	1,10	1,95	0,36	0,17	101,30
9	1,88	33,32	59,83	0,59	2,52	0,18	0,00	98,32
10	0,46	33,77	60,48	0,06	2,36	0,20	0,07	97,39
11	1,86	18,49	71,68	0,44	5,40	0,60	0,10	98,57
12	2,65	6,95	77,51	0,89	9,91	0,79	0,07	98,78

Примечание. 1—7 — осмий, 8—12 — иридий; 1—5 — включения в изоферроплатине, 6—12 — индивидуальные зерна в россыпи.



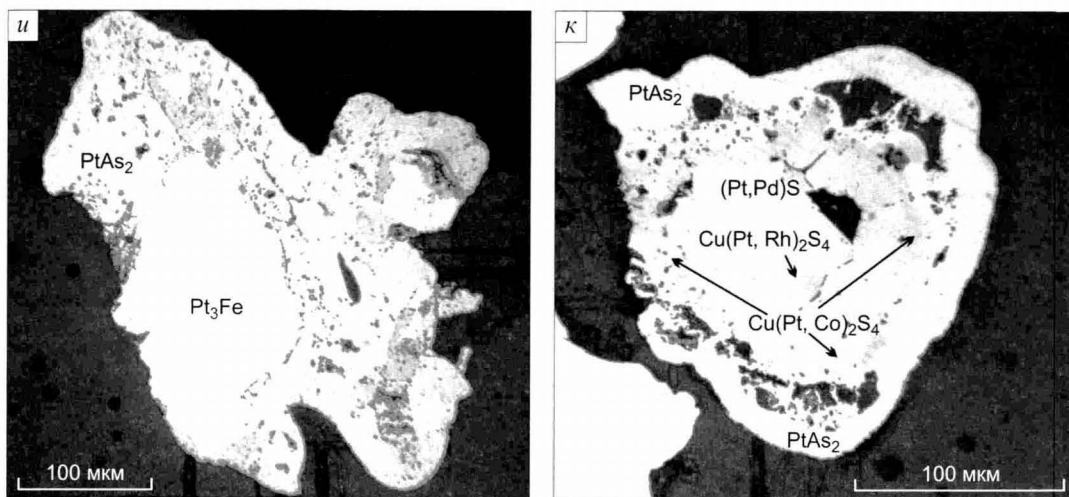


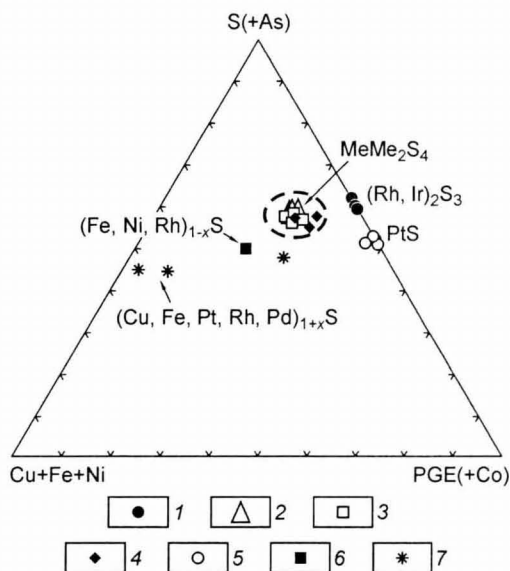
Рис. 5. Взаимоотношение минералов платиновой группы из россыпи массива Филиппа (электронные изображения сканера).

a — включения идиоморфных кристаллов осмия в зерне изоферроплатины; *б* — замещение изоферроплатины куперит-сперрилитовым агрегатом; *в* — концентрическая зональность реакционных кайм: внутренней — куперита PtS и внешней — сперрилита PtAs₂; *г* — реликты изоферроплатины в зернах сперрилита; *д* — замещение изоферроплатины куперитом; *е* — изометричное включение купроиридсита Cu(Ir,Rh)₂S₄ в зерне изоферроплатины; *жс* — выделения купроиридсита изометричной и неправильной формы в сростании с куперитом в зерне изоферроплатины; *з* — выделения купроиридсита неправильной формы и округлое включение кашинита Ir₂S₃ в зерне изоферроплатины; *и* — замещение изоферроплатины неоднородным агрегатом, состоящим преимущественно из сперрилита; *к* — куперит (Pt,Pd)S, полностью заместивший изоферроплатину с более поздними реакционными каймами Co-содержащего маланита (тонкая внутренняя кайма) и сперрилита (внешняя кайма).

лами куперитом и сперрилитом. Он представляет собой выделения неправильной формы, приуроченные к краям зерен и трещинкам в замещающей платине или каймы замещения, расположенные между куперитом и сперрилитом (см. рис. 5, *к*). В отраженном свете Co-содержащий маланит имеет серый цвет, несколько темнее остальных сульфидов ЭПГ, от обычного маланита отличается буроватым оттенком. Оптически изотропен. Некоторые включения являются зональными, концентрация Co в них увеличивается от центра к периферии зерен. Эта же тенденция проявляется в том, что в центральной части зерна включение маланита содержит 1,57 мас.% Co, а в периферической зоне этого же зерна концентрация Co в маланите варьирует в пределах 11,91—12,33 мас.% (см. табл. 3, рис. 5, *к*). В целом концентрация Co в маланите изменяется от 0,91 до 12,33 мас.%. Доля карролитового минала (CuCo₂S₄) достигает 47 мол.% (см. рис. 8, *б*). В структуре минерала Co занимает позицию платиноидов, но не самой Pt, так как наблюдается отрицательная корреляция между Co и Rh, также между Co и Ir (рис. 9, *а*). Корреляция между Co и Pt отсутствует. Интересным является тот факт, что атомное количество Pt в Co-содержащем маланите остается постоянным и равным одной формульной единице. Оказалось также, что количество Co, иногда компенсируемое Rh и Ir, также равняется одной формульной единице (см. рис. 9, *б*). Возможно, что Co-содержащий маланит является новым незазванным минералом в семействе тиошпинелей с предполагаемой формулой CuPt(Co,Rh,Ir)S₄, где Pt, Cu и Co занимают самостоятельные позиции в структуре, поскольку, с одной стороны, отсутствует изоморфное замещение между Pt, Cu и Co, и, с другой стороны, фиксируется изоморфизм между Co, Rh и Ir.

Рис. 6. Состав сульфидов, включенных в Pt-Fe сплавы на диаграмме (Cu + Fe + Ni)—S (+As)—PGE (+Co), ат.-%.

1 — кашинит-бауит, 2 — Co-содержащий маланит, 3 — ЭПГ-тиошпинели, 4 — Pb-содержащие тиошпинели, 5 — куперит, 6 — Mss (Me_{1-x}S), 7 — Iss (Me_{1+x}S).



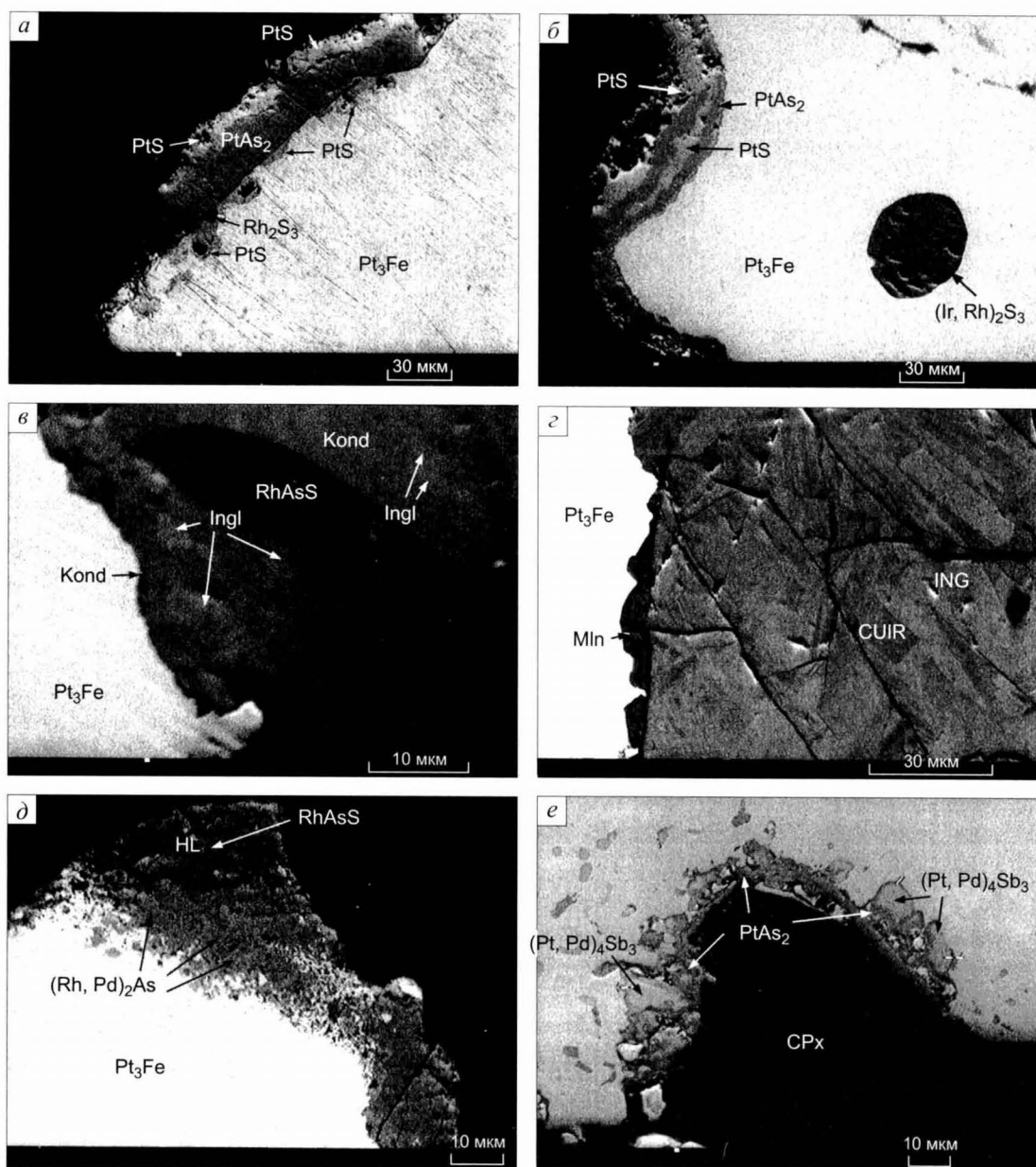


Рис. 7. Микрофотографии (сканирующий электронный микроскоп).

a, б — чередование каемок куперита PtS и сперрилита $PtAs_2$ в инверсионном порядке; *в* — закономерные срастания инаглиита $Cu_3Pb(Ir,Pt)_8S_{16}$ и кондерита $Cu_3Pb(Rh,Pt,Ir)_8S_{16}$ в ассоциации с холлингвортитом $RhAsS$ в изоферроплатине; *г* — структуры распада между инаглиитом $Cu_3Pb(Ir,Pt)_8S_{16}$ и купроирридситом $Cu(Ir,Rh,Pt)_2S_4$; *д* — замещение изоферроплатины агрегатом родарсенида $(Rh,Pd)_2As$ и холлингвортита $RhAsS$; *е* — выделения генкинита $(Pt,Pd)_4Sb_3$ внутри сперрилитовой оторочки на контакте изоферроплатины и клинопироксена.

Минералы ряда *инаглиит* $Cu_3Pb(Ir,Pt)_8S_{16}$ —*кондерит* $Cu_3Pb(Rh,Pt)_8S_{16}$, а также Pb-содержащая тиошпинель, являющаяся Pt аналогом инаглиита (см. рис. 8), обнаружены в виде выделений неправильной формы, приуроченных к краю зерен корродированной и замещенной сперрилитом изоферроплатины. Иногда иридий и родий разновидности встречаются вместе в одном зерне, образуя закономерные срастания, соответствующие, вероятнее всего, структурам распада (см. рис. 7, *в*), инаглиит в этом случае практически не содержит примеси Rh. Подобные взаимоотношения встречаются между инаглиитом и купроирридситом (см. рис. 7, *г*). Это говорит о том, что при высоких температурах между этими фазами существует твердый раствор, при этом Cu и Pb замещают друг друга, подобно как Cu и Fe, но при понижении температуры этот нестабильный твердый раствор распадается на самостоятельные фазы. По сравнению с идеальной формулой наблюдаются значительные отклонения в сторону как избытка Pb (в

Таблица 3. Состав сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов и антимонидов ЭПГ, мас. %

№ п/п	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Cu	Fe	Co	Ni	S	Sb	As	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Куперит PtS</i>														
1	84,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,44	0,00	0,00	98,46
2	85,02	0,00	0,00	0,08	0,07	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	15,10	0,00	0,00	100,41
3	82,14	0,00	0,00	0,00	0,58	0,39	0,00	0,06	0,00	0,00	14,90	0,00	0,42	98,49
4	85,53	0,00	0,00	0,01	0,10	0,90	0,01	0,00	0,00	0,00	15,57	0,00	0,00	100,12
5	85,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	15,64	0,00	0,00	101,86
6	82,40	0,00	0,00	0,05	0,05	1,76	0,00	0,00	0,00	0,05	15,39	0,00	0,00	99,70
7	81,06	0,00	0,00	0,08	0,19	1,78	0,96	0,43	0,00	0,00	15,56	0,00	0,00	100,06
8	80,72	0,00	0,00	0,00	0,00	4,15	0,00	0,00	0,00	0,00	16,35	0,00	0,00	101,22
9	80,37	0,00	0,00	0,00	0,04	4,40	0,01	0,00	0,00	0,00	15,67	0,00	0,00	100,49
<i>Сперрит PtAs₂</i>														
10	53,03	0,00	0,08	0,00	0,51	1,08	0,11	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	42,58	97,69
11	52,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	43,03	98,02
12	58,95	0,00	0,00	0,07	0,28	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,54	1,15	37,40	99,36
13	54,17	0,17	0,00	0,04	0,09	0,64	0,01	0,10	0,14	0,00	0,79	0,00	43,21	99,37
14	55,63	0,00	0,00	0,09	0,06	0,46	0,00	0,17	0,00	0,00	1,77	0,33	40,59	99,10
15	55,11	0,00	0,00	0,05	0,11	0,32	0,00	0,19	0,00	0,00	2,01	0,27	39,65	97,71
16	61,37	0,00	0,00	0,11	0,15	0,43	0,06	0,23	0,00	0,00	4,79	0,24	30,91	98,28
<i>Купродцит CuRh₂S₄</i>														
17	3,30	37,1	0,00	0,00	21,40	0,00	6,20	5,00	0,00	0,00	26,30	0,00	0,00	99,30
18	20,61	1,08	0,17	0,40	36,32	0,00	7,71	3,99	0,00	0,00	27,77	0,00	0,00	98,06
19	25,72	3,20	0,08	0,67	26,26	0,00	10,77	3,19	0,00	0,00	27,61	0,00	0,00	97,50
20	25,94	3,17	0,08	0,69	26,66	0,00	11,11	2,91	0,00	0,00	28,24	0,00	0,00	98,80
21	21,53	6,11	0,05	0,13	28,92	0,00	10,71	4,35	0,00	0,00	29,21	0,00	0,00	101,01
<i>Ферродцит (Fe,Cu)Rh₂S₄</i>														
22	10,30	32,10	0,00	0,00	18,50	0,00	5,70	5,50	0,00	0,00	26,40	0,00	0,00	98,50
<i>Купроуридцит CuIr₂S₄</i>														
23	14,69	30,03	0,00	0,00	16,93	0,00	11,75	0,29	0,00	0,06	25,91	0,00	0,00	99,66
24	17,08	34,96	0,00	0,05	10,82	0,00	11,45	0,26	0,00	0,00	25,23	0,00	0,00	99,85
25	14,68	39,20	0,00	0,00	9,01	0,00	11,74	0,06	0,00	0,05	24,82	0,00	0,00	99,56
26	17,80	35,80	0,00	0,00	7,20	0,00	8,80	0,90	0,00	0,00	23,20	0,00	0,00	99,70
27	5,40	49,90	0,00	0,00	9,10	0,00	7,30	4,40	0,00	0,00	24,40	0,00	0,00	100,50
28	17,26	29,92	0,00	0,00	14,35	0,00	11,51	0,18	0,00	0,07	25,34	0,00	0,00	98,64
<i>Маланит CuPt₂S₄</i>														
29	42,70	2,10	0,00	0,00	17,30	0,00	11,90	0,00	0,00	0,00	25,40	0,00	0,00	99,40
30	43,30	4,90	0,00	0,00	12,40	0,00	11,70	1,50	0,00	0,60	25,20	0,00	0,00	99,60
31	34,25	29,36	0,00	0,04	1,22	0,00	9,86	1,39	0,00	0,00	21,38	0,46	0,00	97,96
<i>Со-содержащий маланит Cu(Pt,Co)₂S₄</i>														
32	37,60	13,06	0,01	0,03	10,96	0,00	11,80	0,08	0,91	0,11	25,70	0,00	0,00	100,25
33	41,30	10,70	0,00	0,00	9,40	0,00	11,80	0,00	1,00	0,00	25,20	0,00	0,00	99,40
34	38,45	12,36	0,00	0,00	10,12	0,00	11,88	0,09	1,58	0,05	26,07	0,00	0,00	100,60
35	39,30	7,50	0,00	0,06	10,59	0,00	12,75	0,00	3,92	0,00	27,80	0,00	0,00	101,92
36	36,09	5,66	0,09	0,04	8,42	0,00	10,82	0,27	6,72	0,00	24,74	0,04	7,46	100,35
37	41,10	0,26	0,00	0,00	3,79	0,00	13,31	0,58	10,23	0,00	28,72	0,00	0,00	97,99
38	44,70	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	13,66	0,29	11,91	0,27	30,07	0,00	0,00	100,97
39	43,98	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	13,69	0,21	12,00	0,22	30,21	0,00	0,00	100,38
40	44,18	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	13,49	0,09	12,03	0,00	30,00	0,00	0,00	99,93
41	43,94	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	13,55	0,08	12,11	0,00	30,45	0,00	0,00	100,23
42	43,45	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	13,64	0,20	12,33	0,17	30,15	0,00	0,00	100,02

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Кашинит (Ir,Rh)₂S₃</i>														
43	1,40	74,70	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,60	0,00	1,90	98,40
44	1,10	73,30	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,40	0,00	0,00	99,80
45	0,59	67,72	0,00	0,24	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,37	0,00	0,00	98,57
46	0,00	67,45	0,00	0,11	8,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,61	0,00	0,00	99,02
47	5,79	51,73	0,00	0,08	17,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,13	0,00	0,53	97,85
<i>Баумит (Rh,Ir)₂S₃</i>														
48	8,40	4,10	0,00	0,00	58,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,60	0,00	0,00	100,60
49	1,30	29,80	0,00	0,00	41,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00	0,00	0,00	99,90
50	2,36	46,72	0,10	0,47	26,35	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	24,86	0,00	0,00	100,95
51	0,31	44,53	0,00	0,10	29,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,84	0,00	0,00	99,21
52	0,00	41,35	0,00	0,30	31,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,88	0,00	0,00	97,77
53	2,87	30,22	0,00	0,15	38,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,00	0,00	0,00	98,21
54	0,53	29,87	0,00	0,21	41,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,36	0,00	0,00	99,43
<i>Лаурит RuS₂</i>														
55	1,14	4,72	6,50	48,02	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,29	0,00	0,00	97,78
56	1,53	5,21	6,99	47,24	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,61	0,00	0,00	97,30
57	1,46	3,72	7,90	48,94	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,25	0,00	0,00	99,99
58	0,23	4,36	11,99	46,34	1,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,61	0,00	0,00	100,08
<i>Эрликманит OsS₂</i>														
59	0,00	5,20	25,97	32,74	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,14	0,00	0,00	97,78
60	4,57	0,39	61,35	1,16	4,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,12	0,00	2,20	97,73
<i>Mss (Me_{1-x}S)</i>														
61	10,00	5,37	0,00	4,43	26,02	0,18	3,24	14,21	0,04	9,28	27,16	0,00	0,00	99,94
<i>Iss (Me_{1+x}S)</i>														
62	22,53	0,00	0,06	0,00	2,79	0,88	40,46	7,67	0,00	0,00	24,02	0,00	0,00	98,41
63	6,75	0,00	0,09	0,00	2,94	0,00	48,68	12,02	0,00	0,00	27,25	0,00	0,00	97,73
64	24,14	0,15	0,04	0,27	17,32	16,51	10,95	7,20	0,00	0,00	22,16	0,00	0,00	98,74
<i>Ирарсит (Ir,Rh,Pt)AsS</i>														
65	14,50	39,10	0,00	0,00	9,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,20	2,80	18,10	98,90
<i>Платарсит (Pt,Rh)AsS</i>														
66	26,10	21,00	0,00	0,00	12,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	29,00	99,10
67	34,20	23,10	0,00	0,00	6,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,60	1,59	20,90	100,07
68	45,10	18,00	0,00	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,30	0,00	24,80	100,28
<i>Холлингвортит (Rh,Pt)AsS</i>														
69	21,10	0,00	0,00	0,00	29,80	1,10	0,00	0,90	0,00	0,00	12,80	6,10	26,90	98,70
70	15,30	0,00	0,00	0,00	33,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,30	15,70	22,00	99,10
<i>Родарсенид (Rh,Pd)₂As</i>														
71	10,50	0,00	0,00	0,00	33,60	31,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,10	22,90	99,30
72	20,20	0,00	0,00	0,00	32,60	24,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,60	98,50
<i>Полкановит Rh₁₂As₇</i>														
73	1,70	0,00	0,00	0,00	66,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,80	99,30
<i>Генкиит (Pt,Pd)₄Sb₃</i>														
74	52,20	0,00	0,00	0,00	5,10	7,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,30	0,70	99,60
75	53,10	0,00	0,00	0,00	0,00	11,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,80	0,00	99,50
76	49,50	0,00	0,00	0,00	6,00	8,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,60	0,00	99,70
<i>Штумпфлит PtSb</i>														
77	61,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,70	0,00	98,80
<i>Мертиит-II Pd₈(Sb,As)₃</i>														
78	25,10	0,00	0,00	0,00	0,00	47,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,70	0,00	100,60
79	23,50	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,10	0,00	98,10

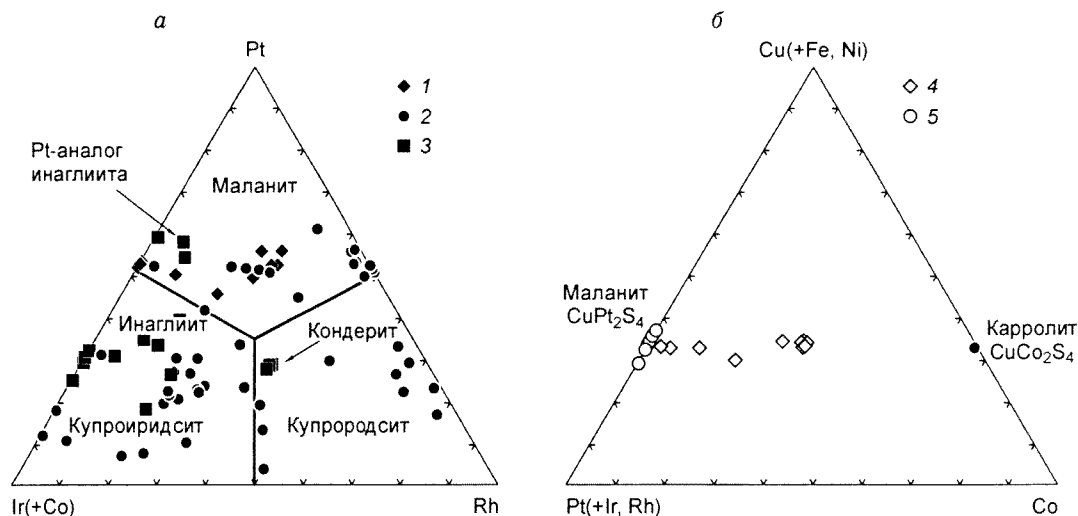


Рис. 8. Состав ЭПГ тиошпинелей маланита, купрородсита, купроиридсита и Pb-содержащих тиошпинелей инаглиита, кондерита и их Pt-аналога.

a — в системе Ir(+Co)—Pt—Rh, на диаграмме разграничены поля минеральных видов; *b* — в системе Pt(+Ir, Rh)—Cu(+Fe, Ni)—Co. 1 — Co-содержащий маланит, 2 — ЭПГ-тиошпинели, 3 — Pb-содержащие ЭПГ тиошпинели, 4 — Co-содержащий маланит, 5 — ЭПГ-тиошпинели.

инаглиите), так и его недостатка (в Pt-аналоге). Тем не менее все анализы находятся в едином поле составов тиошпинелей (см. рис. 8), для которых допускается еще больший разброс [22]. Иногда наблюдается неоднородность минерала с обогащением Rh в краевой его части (табл. 4). Исследуемый нами инаглиит из массива Филиппа более близок по составу к инаглинской, чем к нижнетагильской разновидности. Кондерит из россыпи массива Филиппа отличается от кондерского стерильностью в отношении Ni (отсутствием изоморфного замещения Ni — Fe) и преобладанием иридиевой составляющей над платиновой [26]. Pt-аналог инаглиита отличается от подобного минерала с Кондерского месторождения [27] значительно меньшей концентрацией Rh. В состав Pt-аналога инаглиита изоморфно входит As до 5,57 мас.% (см. табл. 4).

Кашинит Ir_2S_3 —**баумит** Rh_2S_3 . Минералы этого ряда представлены включениями в изоферроплатине. Чаще всего выделения имеют неправильную форму и приурочены к краевым частям зерен, где они находятся в куперите или сперрилите, замещающих изоферроплатину. Изредка встречаются округлые включения изометричной формы в матрице изоферроплатины (см. рис. 5, з; 7, б). Фазы серии Ir_2S_3 — Rh_2S_3 ассоциируют также с минералами ряда лаурит—эрлихманит, тиошпинелями ЭПГ, холлингвортитом, платарситом, пироксеном. В одном случае отмечается включение пироксена внутри выделения кашинита. Состав минералов широко варьирует, образуя непрерывный изоморфный ряд от 96 мол.% кашинита до 90 мол.% баумита (см. табл. 3). Из примесей почти всегда присутствует Pt, максимальная концентрация которой в кашините составляет 5,79 и баумите — 8,4 мас.%. Иногда проявляются зональные выделения с

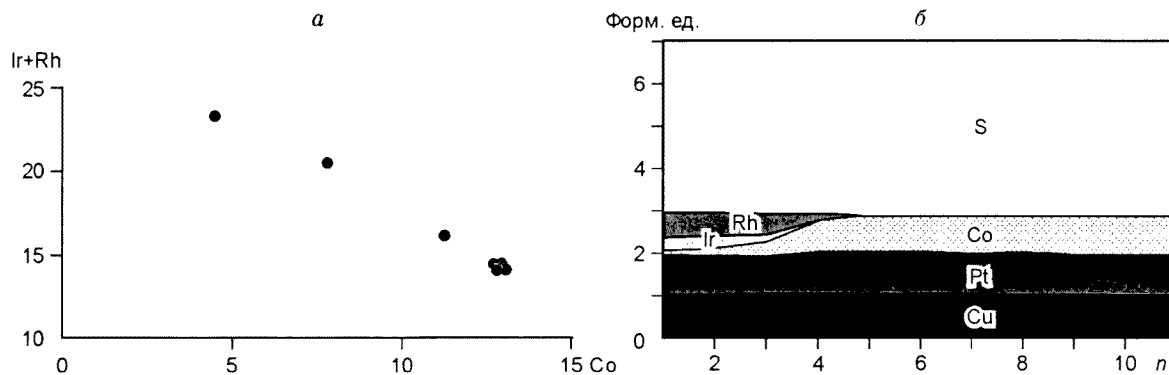


Рис. 9. Состав и соотношение элементов в Co-содержащем маланите.

a — соотношение элементов (Ir + Rh) и Co, характеризующее отрицательную корреляцию между ними (мас. %); *b* — диаграмма состава в формульных единицах; *n* — число анализов, ранжированных по увеличению концентрации Co.

Таблица 4.

Состав Pb-содержащих тиошинелей и неназванных фаз, мас. %

№ п/п	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Cu	Fe	Co	Pb	S	Sb	As	Сумма
<i>Инаглиит</i> $Cu_3Pb(Ir,Pt)_8S_{16}$														
1	22,14	35,13	0,00	0,10	3,48	0,00	6,54	0,38	0,00	10,50	21,09	0,00	0,00	99,37
2	25,20	39,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	1,10	0,00	8,30	18,50	0,00	2,90	99,50
3	17,40	35,70	0,00	0,00	7,00	0,00	6,60	0,70	0,00	10,80	21,80	0,00	0,00	100,00
<i>Кондерит</i> $Cu_3Pb(Rh,Pt,Ir)_8S_{16}$														
4	20,80	22,80	0,00	0,00	15,10	0,00	6,60	1,60	0,00	9,00	23,00	0,00	0,00	98,90
5	20,70	23,60	0,00	0,00	14,90	0,00	6,50	1,70	0,00	9,30	23,20	0,00	0,00	99,90
6	19,40	23,40	0,00	0,00	14,40	0,00	6,50	1,30	0,00	12,00	23,10	0,00	0,00	100,00
<i>Pt аналог инаглиита</i>														
7	41,21	25,33	0,00	0,00	2,48	0,00	4,97	0,24	0,00	4,12	18,77	0,08	3,58	100,78
8	36,97	25,28	0,05	0,06	3,17	0,00	4,32	0,31	0,16	5,21	17,38	0,32	5,57	98,79
9	39,59	27,05	0,01	0,07	0,25	0,12	4,51	1,35	0,15	6,74	18,94	0,00	0,00	98,78
<i>IrAs(Sb,S)</i>														
10	1,78	50,51	0,00	0,15	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,73	19,44	20,79	98,12
<i>PtAs</i>														
11	63,49	0,00	0,08	0,04	0,21	1,61	0,00	1,93	0,00	0,00	0,88	6,58	26,16	100,97
<i>(Pt, Ir, Fe)(As, Sb, S)</i>														
12	52,56	18,95	0,12	0,09	1,78	0,53	0,00	3,72	0,00	0,00	1,99	9,57	8,09	97,40
<i>(Rh, Pt, Os, Fe)₂(S, As)₃</i>														
13	26,88	0,34	18,00	0,55	20,70	0,00	0,11	2,12	0,00	0,00	13,17	0,04	19,34	101,26
<i>Fe(Pd, Pt)₃(S, Sb, As)₃</i>														
14	41,83	0,26	0,00	0,01	22,85	0,00	0,81	6,95	0,00	0,00	7,43	20,52	1,63	102,28

Формульные коэффициенты:

- $(Cu_{2,50}Fe_{0,16})_{2,66}Pb_{1,24}(Ir_{4,46}Pt_{2,76}Rh_{0,82})_{8,06}S_{16,02}$
- $(Cu_{1,84}Fe_{0,51})_{2,35}Pb_{1,04}(Ir_{5,27}Pt_{3,35})_{8,62}S_{14,98}$
- $(Cu_{2,44}Fe_{0,29})_{2,73}Pb_{1,22}(Ir_{4,36}Pt_{2,1}Rh)_{8,06}S_{15,98}$
- $(Cu_{2,30}Fe_{0,63})_{2,93}Pb_{0,96}(Rh_{3,25}Ir_{2,62}Pt_{2,36})_{8,23}S_{15,88}$
- $(Cu_{2,25}Fe_{0,67})_{2,92}Pb_{0,94}(Rh_{3,18}Ir_{2,70}Pt_{2,33})_{8,22}S_{15,89}$
- $(Cu_{2,26}Fe_{0,52})_{2,78}Pb_{1,28}(Rh_{3,1}Ir_{2,69}Pt_{2,2})_{7,99}S_{15,95}$
- $(Cu_{0,50}Pb_{0,13}Fe_{0,03})_{0,66}(Ir_{0,84}Pt_{1,34}Rh_{0,15})_{2,33}(S_{3,71}As_{0,30})_{4,01}$
- $(Cu_{0,44}Pb_{0,16}Fe_{0,04}Co_{0,02})_{0,66}(Pt_{1,24}Ir_{0,86}Rh_{0,20})_{2,30}(S_{3,54}As_{0,48}Sb_{0,02})_{4,04}$
- $(Cu_{0,46}Pb_{0,21}Fe_{0,16}Co_{0,02})_{0,83}(Pt_{1,33}Ir_{0,92}Rh_{0,03})_{2,28}S_{3,87}$
- $(Ir_{0,93}Rh_{0,06}Pt_{0,03}Ru_{0,01})_{1,03}As_{0,99}(Sb_{0,57}S_{0,41})_{0,98}$
- $(Pt_{0,81}Fe_{0,09}Pd_{0,04}Rh_{0,01})_{0,95}(As_{0,86}Sb_{0,13}S_{0,07})_{1,06}$
- $(Pt_{1,14}Ir_{0,42}Fe_{0,28}Rh_{0,07}Pd_{0,02})_{0,93}(As_{0,46}Sb_{0,33}S_{0,26})_{1,05}$
- $(Rh_{0,87}Pt_{0,60}Os_{0,44}Fe_{0,18})_{2,09}(S_{1,79}As_{1,12})_{2,91}$
- $(Fe_{0,87}Cu_{0,09})_{0,96}(Pd_{1,56}Pt_{1,51})_{3,07}(S_{1,63}Sb_{1,18}As_{0,15})_{2,96}$

каймай, обогащенной родиевым компонентом по сравнению с центральной частью зерна. Зональные зерна бауита ранее описаны в платиновой россыпи Восточного Мадагаскара [5].

Лаурит RuS_2 —*эрликманит* OsS_2 . Включения лаурита и эрликманита представлены средними членами изоморфного ряда, относящимися к обоим минеральным видам. И тот, и другой являются одними из распространенных минералов в большинстве проявлений МПГ в связи с высоким родством серы к Ru и Os. В рассматриваемой россыпи минералы этого ряда содержат Ir до 5,21 и Pt до 4,57 мас.%. В лаурите Rh присутствует в количестве 1,55—2,11, а в эрликманите его содержание достигает 4,94 мас.%, при этом часть серы в эрликманите замещается As (см. табл. 3).

Моносulfидный твердый раствор Mss . Mss с общей формулой $Me_{1-x}S$ обнаружен в виде изолированного включения в изоферроплатине. Ме включает в себя как металлы группы Fe, так и ЭПГ, среди которых существенную роль играет Rh (15 ат.%). При этом сумма цветных металлов преобладает над элементами платиновой группы (см. рис. 6, табл. 3). Формула Mss имеет вид: $(Fe_{0,30}Ni_{0,19}Cu_{0,06})_{0,55}(Rh_{0,30}Pt_{0,06}Ru_{0,05}Ir_{0,03})_{0,44}S_1$. По классификации сульфидов, содержащих ЭПГ [22], это соединение относится к типу В, или к родий-содержащему пирротину. В системе Fe—Rh—S при 750 °C В.В. Дистлером

синтезирована фаза $Me_{1-x}S$, в которой содержание Rh составляет от 0,10 до 0,42 формульные единицы [28]. Исследованное соединение попадает в диапазон синтетических составов при этой температуре. Е. Маковицкий показал, что при добавлении в систему Ni в равных с Fe соотношениях [29] при 500 °C с Rh-тиошинелями сосуществует фаза состава $(Ni,Fe)_{0,67}Rh_{0,30}S_{1,03}$, близкая к обнаруженной нами в россыпи, приуроченной к массиву Филиппа.

Промежуточный твердый раствор Iss. Отдельные фазы с общей формулой $Me_{1-x}S$ обнаружены среди включений в железистой платине. Их состав колеблется в соотношениях между элементами группы Fe, ЭПГ и серой (см. рис. 6, табл. 3). Все они относятся к промежуточному твердому раствору Iss, который является основным концентратом ЭПГ [30]. В исследуемых составах Iss Cu преобладает над Fe. В некоторых ЭПГ концентрируется преимущественно Pt: $(Cu_{0,85}Fe_{0,18}Pt_{0,15}Rh_{0,04}Pd_{0,01})_{1,23}S_1$ и $(Cu_{0,90}Fe_{0,25}Pt_{0,04}Rh_{0,03})_{1,22}S_1$, а в других — Rh и Pd: $(Cu_{0,25}Fe_{0,19}Rh_{0,24}Pd_{0,22}Pt_{0,18})_{1,09}S_1$, сумма которых преобладает над суммой элементов группы Fe.

Сульфосениты ЭПГ. В краевых каймах, сложенных куперит-сперрилитовым агрегатом встречены три разновидности из системы сульфосенитов ЭПГ: *платарсит* (Pt,Rh,Ir)AsS, *ирарсит* (Ir,Rh,Pt)AsS и *холлингвортит* (Rh,Pt)AsS (см. табл. 3). Последний наиболее характерен для россыпи Филиппа и часто встречается в виде неправильных обособлений во внешней части сперрилитовых оторочек зерен изоферроплатины (см. рис. 7, в, д). Во всех представленных минеральных фазах этой системы, особенно в холлингвортите, As иногда замещается сурьмой. Содержание Sb в холлингвортите достигает 15,7 мас.% (см. табл. 3) или, как видно из кристаллографической формулы, третья часть мышьяка замещается сурьмой: $(Rh_{0,81}Pt_{0,19})_{1,00}S_{0,95}(As_{0,73}Sb_{0,32})_{1,05}$. В составе сульфосенитов, по литературным данным, не известна такая высокая примесь Sb. Можно отметить значительную долю Ir в платарсите, который, в свою очередь, совершенно отсутствует в холлингвортите. Все три разновидности также стерильны в отношении Ru.

Арсениды ЭПГ. С п е р р и л и т $PtAs_2$. Морфологические особенности сперрилита охарактеризованы при описании куперита, с которым он тесно ассоциирует. Сперрилит содержит небольшую примесь Sb, для него характерна также примесь Pd до 2,67 мас.%. В меньших количествах постоянно присутствуют Rh и Fe (см. табл. 3).

Родарсенид $(Rh,Pd,Pt)_2As$. Фаза $(Rh,Pd)_2As$ обнаружена в двух зернах, где выполняет в агрегатах с холлингвортитом каймы по изоферроплатине (см. рис. 7, д). По стехиометрии она идентична родарсениду р. Сребреника в Центральной Сербии [31]. Состав в разных зернах несколько отличается друг от друга примесями (см. табл. 3), но в обоих случаях существенную роль среди них играет Pt, достигающая 20,2 мас.% и позволяющая включить ее в формулу минерала: $(Rh_{0,96}Pd_{0,86}Pt_{0,16})_{1,98}(As_{0,90}Sb_{0,03})_{1,02}$ и $(Rh_{1,02}Pd_{0,73}Pt_{0,33})_{1,08}As_{0,92}$ в отличие от родарсенида из россыпи р. Пустая, который содержит всего 5,9 мас.% Pt [8].

Полкановит $Rh_{12}As_7$. Из прочих арсенидов ЭПГ в составе позднего парагенезиса вместе с холлингвортитом и генкинитом встречена фаза $(Rh_{11,54}Pt_{0,15})_{11,69}As_{7,31}$, аналогичная недавно открытому в россыпях р. Миасс на Урале полкановиту $Rh_{12}As_7$ [32]. По сравнению с уральским полкановитом из россыпи, прилегающей к массиву Филиппа, ближе к идеализированной формуле, так как практически не содержит примесей (см. табл. 3).

Антимониды ЭПГ. Г е н к и н и т $(Pt,Pd)_4Sb_3$. Из соединений платиноидов с сурьмой в исследуемой россыпи наиболее часто встречается генкинит. Как правило, генкинит проявляется в виде неправильных обособлений размером до 20 мкм внутри сперрилитовых оторочек, реже развивается по трещинкам в зернах изоферроплатины. В нескольких случаях проявления генкинита приурочены к включениям клинопироксена (см. рис. 7, е). Наряду с генкинитом, не содержащим примеси (см. табл. 3) и обладающим идеальной формулой $(Pt_{2,86}Pd_{1,14})_{4,00}Sb_{3,00}$ присутствуют составы с изоморфными примесями Rh и As: $(Pt_{2,77}Pd_{0,71}Rh_{0,51})_{3,99}(Sb_{2,91}As_{0,10})_{3,01}$. Минерал из россыпи, приуроченной к массиву Филиппа, отличается от генкинита из сульфидных руд Онверхафт [33], россыпи Юбдо в Эфиопии [15] и россыпи р. Левтыриньявам в Корякии [34] отсутствием примесей Bi, Ni, Fe и Cu.

Штумпфлит $PtSb$. В сперрилитовых каймах отмечены включения штумпфлита размерами до 10 мкм. Анализ одного из них, относящихся к редким фазам, показал идеальную формулу $Pt_{1,01}Sb_{0,99}$ и отсутствие каких-либо примесей (см. табл. 3) по сравнению с Bi-содержащим штумпфлитом из Трансваала, где он был впервые описан [35].

Мертит II встречен в ассоциации с генкинитом и штумпфлитом в составе позднего прагенезиса внутри сперрилитовых каемок по изоферроплатине. Этот минерал также отличается от известного и ранее описанного мертита II с примесями Cu, As, Sn [36] отсутствием таковых (см. табл. 3) и формулой $(Pd_{6,22}Pt_{1,68})_{7,90}Sb_{3,10}$.

Неназванные соединения. Кроме упомянутых выше сульфидов в составе позднего парагенезиса, наложенного на Pt-Fe сплавы, обнаружены и проанализированы различные неназванные фазы, относящиеся как к сульфидам и арсенидам, так и к сложным стибноарсенидам переменного состава и нестабильной стехиометрии (см. табл. 4).

Фаза IrAs(Sb,S) обнаружена в составе позднего парагенезиса в виде включения неправильной формы в сперрилите, замещающем зерно изоферроплатины. Состав рассчитывается на формулу стибноарсенида иридия, в котором другие незначительные примеси ЭПГ дополняют Ir до формульной единицы, а S изоморфно замещает Sb (см. табл. 4). Соединение IrAsSb встречалось в россыпях Приморья, в составе наложенного парагенезиса на Os-Ir-Ru сплавы [37], но по сравнению с ранее описанным, в котором присутствует примесь Os, стибноарсенид иридия из массива Филиппа, содержит примеси Pt и Rh. Это различие, несомненно, отражает специфику генетических источников.

Проанализированы также два соединения Pt(As,Sb,S), относящиеся к арсенидам или стибноарсенидам Pt с необычной стехиометрией 1:1, в котором As, Sb и S имеют разные соотношения, но преобладает As. То соединение, которое содержит меньше примесей и приближается к формуле PtAs, образуется непосредственно по сперрилиту, замещающему изоферроплатину. А соединение с большим количеством Sb и S, в котором Pt также частично замещается Ir, развивается по сперрилиту в виде рыхлых кайм и агрегатов неправильной формы. В обоих случаях присутствует примесь Fe (см. табл. 4). В системе Pt—As—Sb не известны синтетические соединения с подобной стехиометрией [38], но, вероятно, они образуются при низких температурах метасоматическим путем и являются редкими и неустойчивыми.

Среди неназванных соединений позднего парагенезиса в виде фрагментарных кайм по замещающему изоферроплатину туламиниту развиваются также сложные соединения (Rh,Pt,Os,Fe)₂(S,As)₃ и (Fe,Cu)(Pd,Pt)₃(S,Sb,As)₃ (см. табл. 4), не имеющие природных аналогов, согласно последнему каталогу минералов ЭПГ [39].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Особенностью ассоциации минералов платиновой группы из россыпи массива Филиппа является присутствие в значительном количестве свободных зерен самородного иридия или высокоиридистого осмия (~20 %). Тогда как для большинства аналогичных источников уральско-алаянского типа характерны изоферроплатиноиридиевые структуры распада, образовавшиеся после кристаллизации осмия, как на Гальмознанском или Инаглинском массивах [19]. Свободные зерна самородного иридия в платиновых россыпях встречаются нечасто. Одним из таких примеров являются россыпи рек Юхточка, Селигдар, Томмот в Центрально-Алданском районе [40]. Это может свидетельствовать о том, что рудоформирующая система или металлическая составляющая исходного расплава материнского источника россыпи была обогащена Ir в результате неполного фракционирования тугоплавких (Os, Ir, Ru) и легкоплавких (Pt, Pd, Rh) компонентов. О преимущественно иридистой специализации рудоформирующей системы клинопироксенит-дунитового комплекса также свидетельствует насыщенность Pt-Fe сплавов иридием. В процессе кристаллизации Pt-Fe сплавов остаточный расплав обогащался Rh, что отражается в составе более поздних включений Ir-Rh тиошпинелей и минералов серии кашинит—баунит (Ir₂S₃—Rh₂S₃).

Основной особенностью, характеризующей специфику постмагматического этапа развития рудоформирующей системы, является широкое проявление куперит-сперрилитового парагенезиса, подобно россыпи р. Пустая на Камчатке [8] или россыпям Кузнецкого Алатау и Горной Шории [20]. При этом отсутствуют замещения Pt-Fe сплавов туламинитом, как это характерно для позднего этапа развития ЭПГ минерализации на Гальмознанском массиве в Корякии [34]. Это свидетельствует о том, что постмагматические флюиды в рудоформирующей системе, преобразующие платину, были насыщены летучими компонентами, причем на поздней стадии увеличивалась активность As относительно активности S. Эти флюиды были также обогащены Pb и Sb, что отразилось на появлении инаглиита, кондерита и их Pt-аналога, а также различных фаз с Sb, в том числе Sb-содержащего холлингвортита. Обогащенность системы Co является уникальной особенностью позднего парагенезиса минералов ЭПГ в массиве Филиппа, что отличает его от других подобных источников и связано, скорее всего, с теми наложенными процессами, которые интенсивно преобразовали породы массива, вмещающие рудную минерализацию.

В целом минералогические особенности МПГ из россыпи массива Филиппа аналогичны ассоциациям минералов из россыпей уральско-алаянского типа. К основным характеристикам относятся преобладание Pt-Fe сплавов, преимущественно Pt₃Fe, над другими минералами, наличие в них включений самородного осмия и сульфидов платиновых металлов, таких как тиошпинели, кашинит, баунит, а также проявление наложенных процессов, обуславливающих замещение платиножелезистых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жданов В.В., Рудашевский Н.С.** Новый тип золото-платиновой минерализации в метасоматитах по базитам // Докл. АН СССР, 1980, т. 252, № 6, с. 1452—1456.
2. **Шило Н.А., Каминский Ф.В., Лаврова Л.Д. и др.** Первая находка алмаза в ультрамафитах Камчатки // Докл. АН СССР, 1979, т. 248, № 5, с. 1211—1214.
3. **Полетаев В.А.** Камчатско-Корякский платиноносный пояс // Платина России. Т. 3, кн. 1. М., ЗАО „Геоинформмарк“, 1999, с. 76—87.

4. **Спиридонов Э.М., Плетнев П.А., Перелыгина Е.В., Рапопорт М.С.** Геология и минералогия месторождения Золотая гора (Карабашское), Средний Урал. М., Изд-во Моск. ун-та, 1997, 192 с.
5. **Legendre O., and Auge T.** Alluvial platinum-group minerals from the Manampotsy area, East Madagascar // *Austr. J. Earth Sci.*, 1992, v. 39, p. 389—404.
6. **Weiser T., and Schmidt-Thome M.** Platinum-group minerals from the Santiago River, Esmeraldas Province, Ecuador // *Canad. Miner.*, 1993, v. 31, p. 61—73.
7. **Johan Z., Slansky E., and Kelly D.** Platinum nuggets from the Kompiam area, Enga Province, Papua New Guinea: evidence for an Alaskan-type complex // *Miner. Petrol.*, 2000, v. 68, p. 159—176.
8. **Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Laajoki K.V.O. et al.** The association of platinum-group minerals in placers of the Pustaya River, Kamchatka, Russia // *Canad. Miner.*, 2000, v. 38, p. 1055—1068.
9. **Округин А.В.** Минеральные парагенезисы и генезис самородков изоферроплатины из россыпи Инагли (Сибирская платформа) // *Геология рудных месторождений*, 2001, т. 43, № 3, с. 268—279.
10. **Евстигнеева Т., Кудрявцев А., Рудашевский Н.** Минералы элементов платиновой группы из Юбдо (Эфиопия): новые данные // *Минералогический журнал*, 1992, т. 14, № 1, с. 29—41.
11. **Толстых Н.Д., Кривенко А.П.** Минералы платиновых металлов в россыпи р. Инагли (Алданский щит) // *Геология и геофизика*, 1997, т. 38, № 4, с. 765—774.
12. **Johan Z., Ohnenstetter M., Fischer W., and Amosse J.** Platinum-group minerals from the Durance river alluvium, France // *Miner. Petrol.*, 1990, v. 42, p. 287—306.
13. **Slansky E., Johan Z., Ohnenstetter M. et al.** Platinum mineralization in the Alaskan-type intrusive complexes near Fifield, N.S.W., Australia. Part 2. Platinum-group minerals in placer deposits at Fifield // *Miner. Petrol.*, 1991, v. 43, p. 161—180.
14. **Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В.** Новая версия программы КАРАТ для количественного рентгено-спектрального анализа // *Журнал аналитической химии*, 1994, т. 49, № 5, с. 462—468.
15. **Cabri L.J., Feather C.E.** Platinum-iron alloys: a nomenclature based on a study of natural and synthetic alloys // *Canad. Miner.*, 1975, v. 13, p. 117—126.
16. **Cabri L., Criddle A., Laflamme J.** Mineralogical study of complex Pt-Fe nuggets from Ethiopia // *Bull. Miner.*, 1981, v. 104, p. 508—525.
17. **Hagen D., Weiser Th., Htay Than.** Platinum-group minerals in Quaternary gold placers in the Upper Chindwin area of Northern Burma // *Miner. Petrol.*, 1990, v. 42, p. 265—286.
18. **Auge T., and Legendre O.** Pt-Fe nuggets from alluvial deposits in eastern Madagascar // *Canad. Miner.*, 1992, v. 30, p. 983—1004.
19. **Tolstykh N., Krivenko A., Sidorov E. et al.** Ore mineralogy of PGM placers in Siberia and the Russian Far East // *Ore Geol. Rev.*, 2002, v. 20, p. 1—2.
20. **Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / В.И. Богнибов, А.П. Кривенко, А.Э. Изох и др.** Новосибирск, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1995, 151 с.
21. **Gornostayev S., Crocket J., Mochalov A., Laajoki K.** The platinum-group minerals of the Baimka placer deposits, Aluchin Horst, Russian Far East // *Canad. Miner.*, 1999, v. 37, p. 1117—1129.
22. **Melcher F.** Base metal – platinum-group element sulfides from the Urals and the Eastern Alps: characterization and significance for mineral systematics // *Miner. Petrol.*, 2000, v. 68, p. 177—211.
23. **Barkov A., Halkoaho T., Laajoki K.** Ruthenian pyrite and nickelian malanite from the Imandra layered complex, Northwestern Russia // *Canad. Miner.*, 1997, v. 35, p. 887—897.
24. **Barkov A., Martin R., Halkoaho T., and Poirier G.** The mechanism of charge compensation in Cu-Fe-PGE thiospinels from the Penikat layered intrusion, Finland // *Amer. Miner.*, 2000, v. 85, p. 694—697.
25. **Подлипский М.Ю., Сидоров Е.Г., Толстых Н.Д., Кривенко А.П.** Кобальтсодержащий маланит и другие тиошпинели платины из россыпных проявлений реки Майор (Камчатка) // *Геология и геофизика*, 1999, т. 40, № 4, с. 645—648.
26. **Рудашевский Н.С., Мочалов А.Г., Трубкин Н.В. и др.** Кондерит $Cu_3Pb(Rh,Pt,Ir)_8S_{16}$ — новый минерал // *Зап. ВМО*, 1984, вып. 6, с. 712—717.
27. **Некрасов И.Я., Иванов В.В., Ленников А.М. и др.** Новые данные о сульфидах и сульфоарсенидах платиноидов щелочно-ультраосновных массивов Дальнего Востока // *Докл. РАН*, 1995, т. 341, № 4, с. 520—523.
28. **Дистлер В.В.** Твердые растворы платиноидов в сульфидах // *Сульфосоли, платиновые минералы и рудная микроскопия (материалы XI съезда ММА, Новосибирск, 1978)*. М., 1980, с. 191—200.
29. **Makovicky M., Makovicky E., Rose-Hansen J.** The phase system Rh—Ni—Fe—S (Fe:Ni = 1:1) at 900 °C and 500 °C // *IAGOD Symposium, Orleans, France, 1993, Terra Abstr.*, v. 3, p. 31.
30. **Peregoedova A. and Ohnenstetter M.** Collectors of Pt, Pd and Rh in a S-poor Fe—Ni—Cu sulfide system at 760 °C: experimental data and application to ore deposits // *Canad. Miner.*, 2002, v. 40, p. 527—561.
31. **Tarkian M., Krstic S., Klaska K.H., W. Lieszmann.** Rhodarsenide, $(Rh, Pd)_2 As$, a new mineral // *Eur. J. Miner.*, 1997, v. 9, p. 1321—1325.

32. **Бритвин С.Н., Рудашевский Н.С., Богданова А.Н., Щербачев Д.К.** Полкановит $Rh_{12}As_7$ — новый минерал из россыпей реки Миасс (Урал) // Зап. ВМО, 1998, вып. 2, с. 60—62.
33. **Cabri L.J., Stewart J.M., Laflamme J.H.G., Szymanski J.T.** Platinum-group minerals from Onverwacht. III. Genkinite, $(Pt,Pd)_4Sb_3$, a new mineral // Canad. Miner., 1977, v. 15, p. 389—392.
34. **Толстых Н.Д., Сидоров Е.Г., Видик С.В. и др.** Минералого-геохимические особенности минералов платиновой группы россыпного месторождения р. Левтыриньяваям // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки (материалы II научной сессии Камчатского отделения ВМО). М., Научный мир, 2001, с. 106—136.
35. **Johan Z., Picot P.** La stumpflite, $Pt(Sb,Bi)$ un nouveau minéral // Bull. Soc. Minéral Cristall, 1972, v. 95, p. 610—613.
36. **Cabri L.J., Laflamme J.H.G.** Analyses of minerals containing platinum-group elements. Ch. 8 // Platinum-group elements: mineralogy, geology recovery / J. Cabri, ed. Montreal, 1981, p. 151—173.
37. **Щека С.А., Вржосек А.А., Сапин В.И., Кирюхина Н.И.** Преобразования минералов платиновой группы из россыпей Приморья // Минералогический журнал, 1991, т. 13, № 1, с. 31—40.
38. **Благородные металлы.** Справ. изд. / Ред. Е.М. Савицкий. М., Металлургия, 1984, 592 с.
39. **Daltry V.D. and Wilson A.H.** Review of platinum-group mineralogy: compositions and elemental associations of the PG-minerals and unidentified PGE-phases // Miner. Petrol., 1997, v. 60, p. 185—229.
40. **Округин А.В.** Россыпная платиноносность Сибирской платформы. Якутск, ЯФ Изд-ва СО РАН, 2000, 183 с.

*Рекомендована к печати 22 августа 2003 г.
Г.Н. Аношиным*

*Поступила в редакцию 2 декабря 2002 г.,
после доработки — 16 июня 2003 г.*