

## ИЗОФЕРРОПЛАТИНОВАЯ АССОЦИАЦИЯ МИНЕРАЛОВ В ЗОЛОТОНОСНОЙ РОССЫПИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО САЛАИРА

М.Ю. Подлипский, Г.В. Нестеренко, А.П. Кривенко

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

Впервые в золотоносной россыпи ручья Симоновский, в пределах Егорьевского золотороссыпного района (Салаирский кряж), выявлена изоферроплатиновая ассоциация минералов, представленная зернами изоферроплатины ( $Pt_3Fe$ ) с включениями купрородсита  $CuRh_2S_4$ , браггита  $(Pt,Pd)S$ , высоцкита  $PdS$ , родарсенида  $(Rh,Pd,Pt)_2As$  с высокими содержаниями платины, кейтконнита  $Pd_3Te$ , холлингвортита  $RhAsS$ , а также сульфидов  $Cu$  и  $Fe$ , основного плагиоклаза, магнетита, эпидота, кварца, каолинита, лейкоксена.

Коренным источником изоферроплатиновой ассоциации руч. Симоновский могут быть мелкие тела габброидов, широко распространенные в северо-западной части Салаира, среди которых возможно присутствие тел, относящихся к уральскому платиноносному типу, или габброиды других комплексов.

*Золотоносная россыпь, минералы ЭПГ, изоферроплатиновая ассоциация, изоферроплатина, Салаир.*

### ISOFERROPLATINUM MINERAL ASSEMBLAGE IN THE NORTHWESTERN SALAIR GOLD PLACER

M.Yu. Podlipsky, G.V. Nesterenko, and A.P. Krivenko

Isoferroplatinum mineral assemblage has been first discovered in the Simonovsky Brook gold placer localized in the Egor'evskoe gold-bearing district (Salair Range). It includes isoferroplatinum ( $Pt_3Fe$ ) grains with inclusions of cuprorhodsite  $CuRh_2S_4$ , braggite  $(Pt,Pd)S$ , vysotskite  $PdS$ , high-Pt rhodarsenide  $(Rh,Pd,Pt)_2As$ , keithconnite  $Pd_3Te$ , hollingworthite  $RhAsS$ ,  $Cu$  and  $Fe$  sulfides, basic plagioclase, magnetite, epidote, quartz, kaolinite, and leucoxene.

The assemblage might have been produced from small gabbroid bodies widespread in the northwestern Salair region, including those of the Uralian platinum-bearing type, or from gabbroids of other complexes.

*Gold placer, PGE minerals, isoferroplatinum assemblage, isoferroplatinum, Salair*

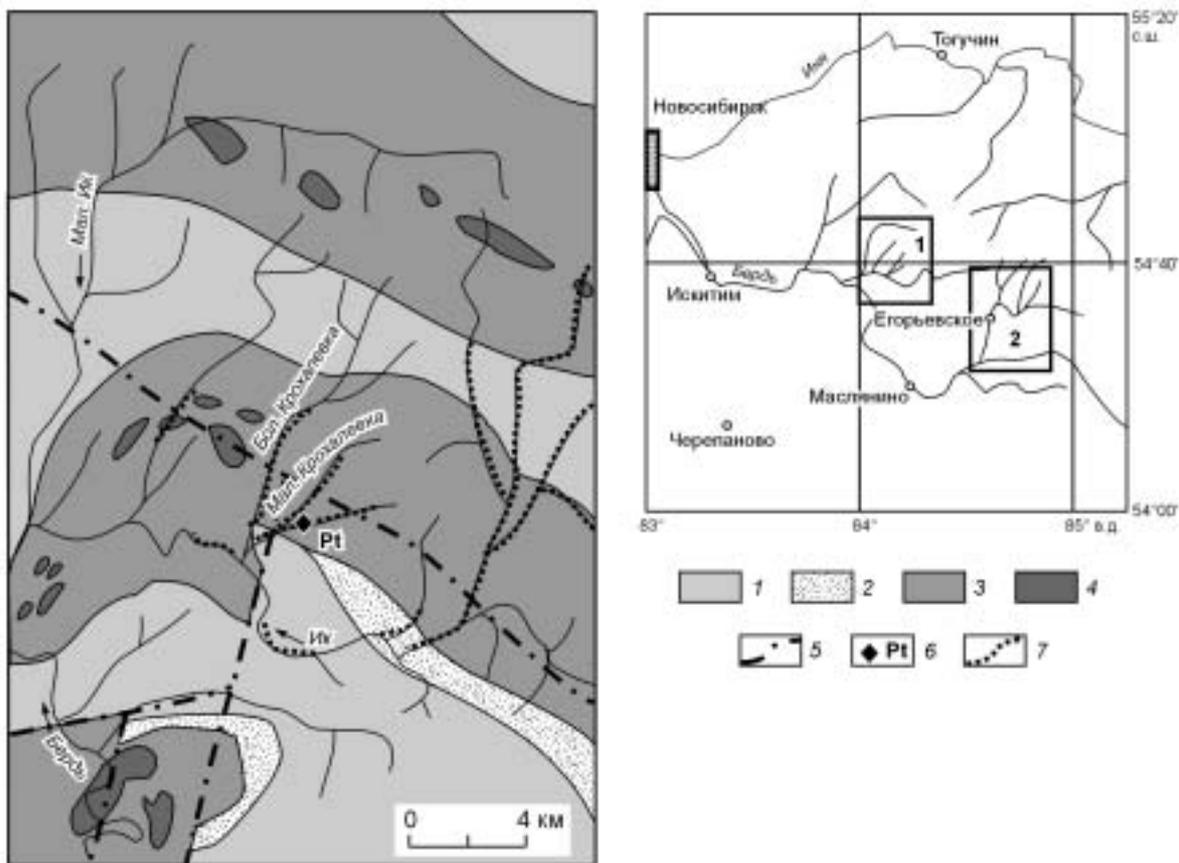
### ВВЕДЕНИЕ

Сведения о присутствии минералов платины и осмистого иридия в россыпях Салаирского кряжа известны с XVIII в. [Высоцкий, 1933], однако эти находки не были подтверждены точной диагностикой минералов. Первые микронзондовые анализы минералов элементов платиновой группы (ЭПГ) из россыпей Северо-Западного Салаира были опубликованы только в 1999 г. [Толстых и др., 1999]. Минералы ЭПГ, найденные в объединенных хвостах доводки золотосодержащих концентратов из россыпей Егорьевского золотоносного района рек Матренка, Мостовая, Ик, представляют рутениридосминовую ассоциацию, в которой преобладают гексагональные сплавы  $Os$ ,  $Ir$  и  $Ru$  с отчетливо проявленным рутениевым трендом составов. В подчиненном количестве присутствуют самородный иридий,  $Pt$ - $Ir$ - $Os$ - $Ru$  поликомпонентные твердые растворы, изоферроплатина и самородная  $Pt$  [Толстых и др., 1999]. В виде включений и кайм в  $Os$ - $Ir$ - $Ru$  сплавах отмечаются лаурит  $RuS_2$ , соединение  $(Ir,Ru)(As,S)_2$  и ирарсит  $IrAsS$ . Источником такой рутениридосминовой ассоциации минералов должны быть альпинотипные гипербазиты, широко проявленные в южных районах Салаира, но отсутствующие в районе изученных россыпей. В статье Н.Д. Толстых и др. [1999] высказано предположение, что данная ассоциация минералов попала в аллювиальные россыпи из промежуточного коллектора или из ультраосновных пород денудированного аллохтона.

Нами в Северо-Западном Салаире выявлена изоферроплатиновая ассоциация минералов, обсуждению которой посвящена настоящая статья.

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА РАБОТ

Изоферроплатиновая ассоциация минералов установлена в золотоносной россыпи руч. Симоновский, левого притока р. Мал. Крохалевка, впадающей в р. Ик. Россыпь расположена на северо-западном фланге Егорьевского золотороссыпного района, который сложен образованиями кембрийского возраста и перекрывающими их с угловым несогласием отложениями ордовика и девона (рис. 1). Нижнекембрийские отложения расчленены здесь на три свиты. Наиболее ранняя кинтерепская сложена известняками с прослоями известковистых песчаников и кремнисто-глинистых сланцев. Залегающая выше вулканогенно-осадочная толща представляет печеркинскую свиту, в составе которой преобладают кислые, средние и основные эффузивы с прослоями туфов, известняков, углеродисто-кремнистых и кварц-хлорит-сери-



**Рис. 1. Схема геологического строения района Симоновской россыпи в северо-западной части Салаира.**

1 — конгломераты, песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, известняки девонского возраста; 2 — песчаники, известняки, глинистые сланцы и алевролиты ордовикского возраста; 3 — кембрийские вулканогенно-осадочные отложения; 4 — габбро, габбро-диориты, порфириды преимущественно кембрийского возраста; 5 — важнейшие разрывные нарушения; 6 — ферроплатиновая ассоциация минералов в россыпи руч. Симоновский; 7 — золотоносные россыпи.

На врезке — географическое положение района Симоновской россыпи (1) и района россыпей Ик, Мостовая, Матренка (2), по [Толстых и др., 1999].

цитовых сланцев. Самой верхней является суенгинская свита, которая представлена терригенными породами (конгломератами, гравелитами, песчаниками) с прослоями известняков и туфов. Нижнекембрийские отложения перекрыты эффузивно-осадочной толщей, включающей конгломераты, песчаники, алевролиты, известняки, эффузивы и туфы основного и среднего составов, возраст которой считается среднепозднекембрийским. К более верхнему структурному этажу отнесены преимущественно осадочные отложения ордовика, силура и девона.

Интрузивные образования в районе представлены мелкими телами габбро, габбро-диабазов, диабазовых и диоритовых порфиритов. Они расчленены на два комплекса: печеркинский, имеющий раннекембрийский возраст, и орлиногорско-ариничевский, комагматичный среднепозднекембрийским эффузивам. Изученность этих комплексов слабая, и четких петрографических признаков для их распознавания не выявлено. Наиболее крупные интрузивы показаны на рис. 1, однако кроме них присутствуют многочисленные более мелкие тела и дайки, в совокупности образующие протяженные пояса северо-западного и субмеридионального простирания. Интрузивные породы претерпели интенсивное гидротермальное изменение, выразившееся в амфиболизации, эпидотизации, окварцевании, замещении ильменита и титаномагнетита сфеном и лейкоксеном.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОНОСНОЙ РОССЫПИ РУЧЬЯ СИМОНОВСКИЙ

Длина руч. Симоновский составляет 5—6 км. Долина в верхней по течению части пологая, а на нижнем полукторакилометровом участке вплоть до впадения в руч. Мал. Крохалева четко очерчена крутыми склонами при ширине днища в 30—40 м. Склоны сложены литифицированными палеозойскими

Таблица 1. Химический состав (мас.%) самородного золота из россыпи руч. Симоновский

№ п/п	Cu	Au	Hg	Ag	Сумма	Пробность, ‰
1	0.30	86.16	1.55	11.70	99.71	864
2	0.01	87.41	1.12	10.50	99.04	883
3	0.03	90.28	0.20	9.39	99.90	904
4	0.00	92.43	3.52	4.04	99.99	924
5	0.04	91.62	0.04	6.89	98.59	929
6	0.15	93.75	0.05	6.05	100.00	938
7	0.07	94.02	1.35	4.71	100.15	940
8	0.09	95.04	0.93	3.01	99.07	952
9	0.67	95.54	0.00	3.85	100.06	955
10	0.40	95.23	0.08	3.92	99.63	956
11	2.11	94.44	0.06	1.96	98.57	958
12	0.12	95.29	0.05	3.75	99.21	960
13	0.14	94.91	0.55	3.21	98.81	961
14	0.05	96.03	0.31	3.59	99.98	961
15	2.02	96.31	0.14	1.52	99.99	963
16	0.01	95.35	0.00	3.04	98.40	969
17	0.03	97.07	0.34	2.54	99.98	971
18	0.13	97.11	0.24	2.44	99.92	973
19	0.11	97.78	0.30	1.91	100.10	978
20	0.22	98.19	0.32	1.25	99.98	982
21	0.07	96.45	0.55	1.18	98.25	982
22	0.02	97.67	0.69	0.43	98.81	988
23	0.06	97.14	0.02	0.91	98.13	990

Примечание. Здесь и далее анализы выполнены в ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск) на микроанализаторе Camebax-Micro, аналитик Л.Н. Поспелова.

породами или четвертичными бурыми суглинками и глинами („мягкие“ увалы). Золотоносные „пески“ залегают под слоем „торфов“ мощностью в 1.5—2.0 м, которые включают вязкие иловатые суглинки и глины серых и синевато-серых оттенков (пойменная фация) и верхнюю часть гравийно-галечных отложений с глинистым заполнителем (речники русловой фации). Разрез продуктивной части имеет двухгоризонтное строение. Золотоносные „пески“ верхнего горизонта представлены гравийно-галечными отложениями с серо-бурый глинистым заполнителем с примесью щебня и мелких валунов. Галечная фракция слабо окатана и представлена местными породами. Мощность горизонта составляет немногим более метра. „Пески“ второго горизонта также представлены гравийно-галечными отложениями с глинистым заполнителем и примесью валунов. Они более глинистые и окрашены в красноватые цвета. Мощность их непостоянна: по отдельным западинам она достигает нескольких метров. „Пески“ этого горизонта сильно обводнены; участками они уходят под „мягкий увал“, и в этом случае мощность „торфов“ достигает 10—15 м. „Пески“ нижнего горизонта наиболее богаты золотом, они часто в значительной степени поражены старыми подземными выработками. Плотик россыпи на этом участке сложен темно-серыми известняками, мелкими дайками габбро-диабазов, в экзоконтакте которых развиты осветленные мраморизованные известняки с тонкой вкрапленностью пирита, алевроглинистыми сланцами, а также ярко окрашенными в красные и желтые цвета глинами (линейные коры выветривания).

Самородное золото из характеризуемой части россыпи является относительно крупным: около 20 % выборки составляют зерна фракции более 2 мм. Встречено большое количество самородков, в том числе весом в 56 и 111.5 г. Окатанность зерен различная. Наряду со средне- и хорошо окатанными золотиными, в заметном количестве присутствуют механически слабообработанные, в том числе сростки ажурных мелких кристаллов. Отмеченные особенности свидетельствуют о близости рассмотренных россыпных концентраций к питающим рудным источникам. Частицы золота преимущественно не содержат включений и вросков других минералов, но имеют черный налет оксидов марганца и бурый — гидроксидов железа. Пробность золота из россыпи руч. Симоновский (табл. 1) варьирует от 864 до 997 ‰, однако высокопробное золото (940—980 ‰) преобладает. Основной примесью в золоте является Ag, содержание которого обычно 1—5 мас.% и лишь в редких случаях достигает 10—11.7 мас.% (см. табл. 1). Среди других примесей иногда отмечаются Hg и Cu до 3.6 и 2 мас.% соответственно. Одним из основных типов

питающих рудных источников является линейная золотоносная кора выветривания, развитая по золото-рудным зонам, минерализованным сульфидами (в основном пиритом). Подтверждением такого предположения служит широкое развитие в тяжелом шлихе и его концентрате псевдоморфоз лимонита по кристаллам пирита. На участке проявлена пространственная и, вероятно, парагенетическая связь таких зон и дайкового комплекса. В последние годы минерализованные золоторудные зоны (метасоматиты) и развитые по ним линейные коры выветривания выявлены на площадях питания ряда россыпей Егорьевского района, сложенных подобным высокопробным золотом. Примером может служить россыпь р. Кинтереп, расположенная на западном фланге района [Нестеренко, 1991].

#### МИНЕРАЛЫ ЭПГ

В хвостах шлиходоходки золотосодержащих концентратов обнаружены минералы элементов платиновой группы в количестве, не превышающем 0.1 % от добываемого золота. Из концентрата выделено и диагностировано около 50 зерен изоферроплатины. Другие минералы ЭПГ представлены включениями в изоферроплатине. В концентрате также присутствуют: ильменит (наиболее распространен), самородное железо с примесью хрома, хромит, киноварь, в единичных зернах — пирит и арсенопирит.

Зерна изоферроплатины заметно окатаны, имеют уплощенную до лепешковидной форму с мелкошагреновой и шагреновой поверхностью. Реже встречаются причудливой формы образования с бугорчато-ямчатой поверхностью. Размер зерен составляют от 0.5 до 2 мм в поперечнике с преобладанием фракции около 1 мм, их цвет серебристо-белый с желтоватым оттенком. Часто неровности поверхности зерен заполнены желто-коричневым материалом, представленным лимонитом с примесью лейкоксена (рис. 2, а, б).

Составы минералов ЭПГ получены на микроанализаторе „Camebax-Micro“ в ОИГТМ СО РАН, г. Новосибирск (аналитик Л.Н. Поспелова). Ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 20—40 нА, время счета 10 с. В качестве стандартов для определения Pt, Ir, Os, Pd, Rh, Ru и Ni использовались чистые металлы, для As — InAs, для Cu, Fe и S — CuFeS<sub>2</sub>, для Co — FeNiCo. Выбраны следующие аналитические линии:  $L_a$  для Pt, Ir, Pd, Rh, Ru, As;  $K_a$  для S, Fe, Ni, Cu, Co;  $M_a$  для Os. Пределы обнаружения элементов (мас.%) следующие: Pt — 0.16; Ir — 0.14; Os, As, Pd, Rh, Ni, Co — 0.04; Cu — 0.06; Fe — 0.03; S — 0.02.

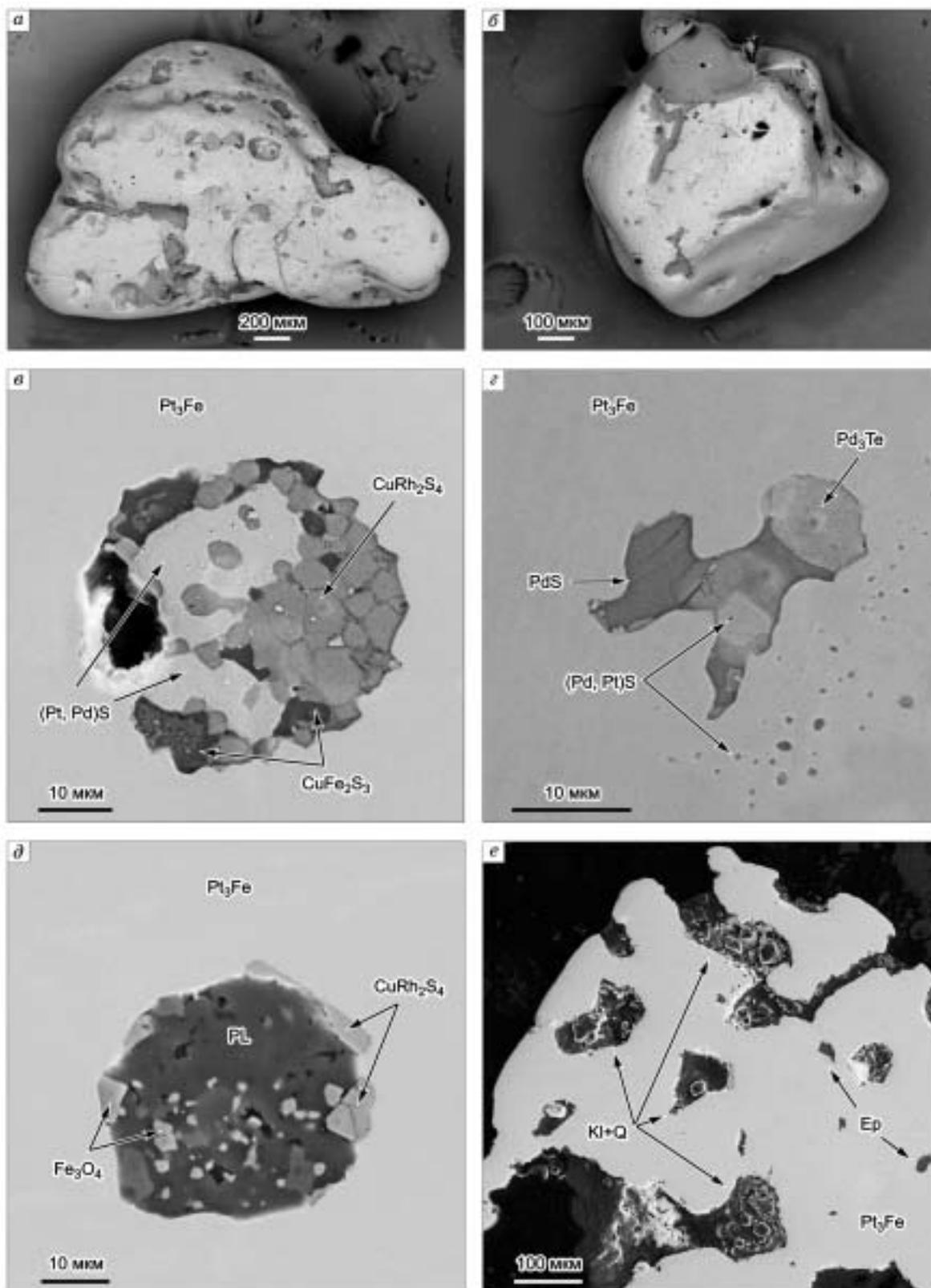
#### СОСТАВ ИЗОФЕРРОПЛАТИНЫ

Изоферроплатина Pt<sub>3</sub>Fe содержит около 25 ат.% Fe(+Cu) (рис. 3) и в небольшом количестве примеси (ат.%) Rh (до 2.8) и Cu (до 4.4), реже Ir (до 2.5) (табл. 2). Содержания Pd, Ru и Os незначительные, Ni — ниже пределов обнаружения. Наблюдаются значимые (на 95 %-м уровне) отрицательные парные корреляции Pt с Ir, Rh; Fe с Os, Pd, Cu (см. табл. 2), что свидетельствует об изоморфном замещении Pt на Rh и Ir в изоферроплатине и увеличении роли Cu и Pd при уменьшении концентрации железа в Pt<sub>3</sub>Fe. Микронзондовые анализы показали однородность зерен изоферроплатины: изменения химического состава в пределах зерна (центр—край) не фиксируется. В целом по набору примесных элементов и их статистическому сравнению наблюдается определенное сходство изученных зерен с изоферроплатиной из промышленных россыпей, связанных с зональными массивами уральского типа [Подлипский, 1999]. Характерно низкое содержание примесей Os, Ru, Pd и Ni, что, видимо, указывает на специфику коренного источника.

#### ВКЛЮЧЕНИЯ В ИЗОФЕРРОПЛАТИНЕ

В виде включений, часто многофазных, заполняющих пустоты в матрице изоферроплатины, обнаружены следующие минералы ЭПГ: купорродсит CuRh<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, брэггит (Pt,Pd)S, висоцкит PdS, родарсенит (Rh,Pd,Pt)<sub>2</sub>As, кейтконнит Pd<sub>3</sub>Te, холлингвортит RhAsS, а также сульфиды Cu и Fe, плагиоклаз, магнетит, эпидот, кварц и каолинит. Морфология включений свидетельствует об их более позднем образовании по сравнению с изоферроплатиной. Форма включений округлая, реже неправильная, размеры варьируют от нескольких до 40 мкм.

**Купорродсит CuRh<sub>2</sub>S<sub>4</sub>**, медно-родиевая тиошпинель, является самым распространенным минералом, включенным в изученных зернах Pt<sub>3</sub>Fe. Он встречается в виде мелких округлых включений, и в составе многофазных включений, ассоциируя с брэггитом и кубанитом (см. рис. 2, в), плагиоклазом и магнетитом (см. рис. 2, д). В виде примесей в купорродсите отмечаются значительные количества Fe и изредка Ni (табл. 3). Иногда наблюдается некоторый избыток халькофильных элементов (Cu+Fe) относительно стехиометрии, что может объясняться ошибкой анализа. В системе трех крайних членов, маланит CuPt<sub>2</sub>S<sub>4</sub>—купорродсит CuRh<sub>2</sub>S<sub>4</sub>—купуроирисит CuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, составы минерала отвечают купорродситу с небольшой долей маланитового минала (рис. 4). Платиновые тиошпинели как поздние минералы, заполняющие пустоты в Pt-Fe сплавах, являются типичными для ферроплатиновых россыпей, связанных с концентрически-зональными массивами уральского типа [Подлипский и др., 1999], хотя иногда они



**Рис. 2. Минералы ЭПГ из золотоносной россыпи руч. Симоновский (изображение в обратнорас-  
сеянных электронах, сканирующий электронный микроскоп LEO-420).**

*a, б* — окатанные зерна изоферроплатины  $Pt_3Fe$ , неровности поверхности зерен заполнены лимонитом с примесью лейкоксена;  
*в–д* — многофазные включения в изоферроплатине  $Pt_3Fe$ : *в* — купородсит  $CuRh_2S_4$ , брэггит  $(Pt, Pd)S$  и кубанит  $CuFe_2S_3$ ,  
*з* — кейтконнит  $Pd_3Te$ , брэггит  $(Pd, Pt)S$ , высокоцит  $PdS$ , *д* — плагиоклаз PL (андезин), магнетит  $Fe_3O_4$  и купородсит  $CuRh_2S_4$ ; *е* —  
заполнение трещин и пустот в изоферроплатине  $Pt_3Fe$  кварц-каолиновым агрегатом (Kf+Q) и эпидотом (Ep).

Таблица 2. Химический состав (мас.%) изоферроплатины Pt<sub>3</sub>Fe и коэффициенты парных корреляций

№ п/п	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Fe	Cu	Сумма
1	0.23	0.78	0.24	1.80	87.98	0.61	6.07	1.72	99.44
2	0.00	0.11	0.09	0.79	89.35	0.12	7.01	0.97	98.43
3	0.00	1.14	0.00	0.23	89.73	0.00	7.29	0.76	99.16
4	0.00	0.00	0.00	0.62	89.94	0.29	7.75	0.33	98.92
5	0.04	0.00	0.04	0.30	89.82	0.13	7.91	0.91	99.14
6	0.05	0.00	0.06	0.89	88.77	0.24	8.09	1.17	99.26
7	0.00	1.22	0.00	0.54	88.49	0.00	8.16	0.75	99.15
8	0.00	0.83	0.00	1.07	88.72	0.00	8.34	0.51	99.47
9	0.00	3.00	0.07	0.85	86.48	0.05	8.41	0.12	98.98
10	0.00	0.29	0.10	0.30	89.22	0.00	8.43	0.12	98.45
11	0.00	0.32	0.00	0.76	89.34	0.00	8.44	0.27	99.13
12	0.00	0.35	0.00	0.86	88.38	0.00	8.48	0.32	98.40
13	0.00	2.62	0.00	0.77	86.11	0.10	8.50	0.10	98.20
14	0.00	0.28	0.06	1.10	89.01	0.27	8.59	0.53	99.84
15	0.00	1.11	0.14	0.93	88.65	0.00	8.60	0.30	99.73
16	0.00	0.26	0.00	0.23	89.22	0.06	8.60	0.16	98.53
17	0.05	0.00	0.09	0.14	89.80	0.26	8.63	0.36	99.32
18	0.00	0.25	0.14	0.25	90.00	0.00	8.67	0.00	99.32
19	0.07	0.24	0.04	1.27	88.27	0.11	8.71	0.49	99.21
20	0.00	1.57	0.08	1.00	87.23	0.00	8.80	0.37	99.05

Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Fe	Cu	
-0.13	0.65	0.58	-0.10	0.81	<b>-0.63</b>	0.73	Os
	-0.06	0.19	<b>-0.84</b>	-0.23	0.10	-0.24	Ir
		0.37	-0.02	0.51	-0.38	0.37	Ru
			<b>-0.51</b>	0.47	-0.31	0.47	Rh
				0.02	-0.13	0.08	Pt
					<b>-0.61</b>	0.65	Pd
						<b>-0.81</b>	Fe

Примечание. Содержания Ni ниже пределов обнаружения. Выделены значимые ( $r = 0.44$ ) отрицательные корреляции.

отмечаются и в других геологических обстановках. Судя по литературным данным, изученный нами купородсит наиболее близок по составу к купородситу, включенному в Pt-Fe сплавы из золотоносных россыпей Бирмы, Колумбии, Эквадора [Cabri et al., 1996], р. Дюранс [Johan et al., 1990], Чукотки [Gornostayev et al., 1999].

**Брэггит (Pt,Pd)S** найден в изоферроплатине в виде мелких (несколько микрометров в диаметре) включений, а также в виде многофазных включений в ассоциации с кейтконнитом Pd<sub>3</sub>Te (см. рис. 2, з), купородситом и кубанитом CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (см. рис. 2, в). Наблюдаются зональные выделения минералов брэггитовой серии с обогащением центральных частей Pt (см. рис. 2, з). Судя по экспериментальным данным [Cabri et al., 1978; Перегоедова, 1999], повышенные содержания Pt в брэггите свидетельствуют о более высоких температурах кристаллизации. Микронзондовыми анализами в брэггите установлены низкие содержания Rh, Fe, Cu, Ni (см. табл. 3). Известно, что брэггит из россыпных месторождений, связанных с зональными комплексами, не содержит Ni, в отличие от брэггита сульфидных руд Cu-Ni месторождений и расслоенных интрузий, где отмечается значительная его примесь [Cabri, 2002].

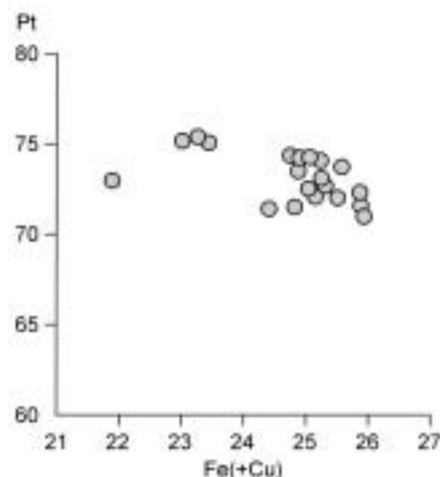


Рис. 3. Содержание Fe(+Cu) в изоферроплатине, ат.%.

Таблица 3. Химический состав (мас.%) сульфидов и арсенидов ЭПГ, включенных в изоферроплатину

№ п/п	Os	Ir	Rh	Pt	Pd	Fe	Cu	Ni	As	S	Сумма
<b>Брэггит (Pt,Pd)S</b>											
1	0.07	0.00	0.11	62.86	18.00	1.25	0.34	0.85	0.00	16.14	99.62
2	0.00	0.00	0.45	64.61	16.68	0.24	0.23	0.53	0.00	16.99	99.73
<b>Купрородсит CuRh<sub>2</sub>S<sub>4</sub></b>											
3	0.00	0.00	31.21	14.64	0.61	9.38	10.07	1.32	0.00	30.78	98.12
4	0.08	0.00	33.78	20.29	0.00	5.30	8.78	1.17	0.00	29.81	99.30
5	0.00	5.49	38.38	11.63	0.00	3.45	9.96	0.11	0.00	30.28	99.30
6	0.00	4.73	39.83	11.38	0.00	3.57	10.13	0.12	0.00	30.26	100.02
7	0.00	4.42	39.24	11.81	0.00	0.06	14.01	0.00	0.00	30.17	99.71
8	0.00	5.56	38.21	12.45	0.00	3.37	10.25	0.09	0.00	30.02	99.95
<b>Родарсенид (Rh,Pd,Pt)<sub>2</sub>As</b>											
9	0.00	0.00	30.96	30.19	15.74	0.13	0.37	0.00	23.38	0.00	100.77
10	0.06	0.00	28.99	30.11	17.32	0.00	0.18	0.00	22.93	0.00	99.59
11	0.00	0.00	31.05	27.64	16.01	0.04	0.47	0.00	23.37	0.00	98.58

Примечание. Дополнительно в сумму входит Co в № 3 (0.11), № 4 (0.09).

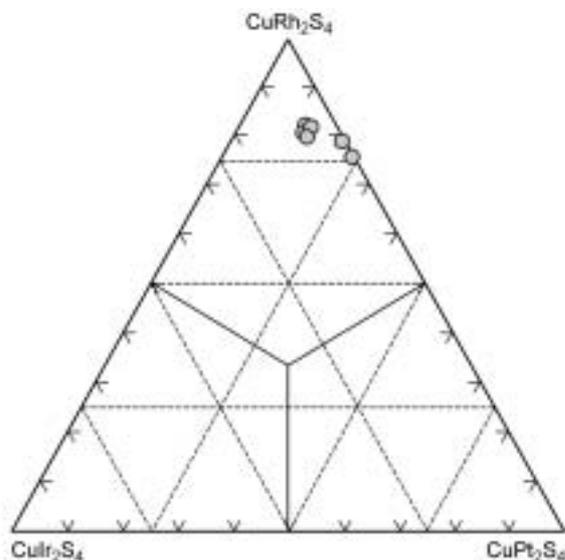
Формульные коэффициенты:

1. (Pt<sub>0.62</sub>Pd<sub>0.33</sub>Fe<sub>0.04</sub>Ni<sub>0.03</sub>Cu<sub>0.01</sub>)<sub>1.03</sub>S<sub>0.97</sub>
2. (Pt<sub>0.64</sub>Pd<sub>0.3</sub>Ni<sub>0.02</sub>Rh<sub>0.01</sub>Fe<sub>0.01</sub>Cu<sub>0.01</sub>)<sub>0.98</sub>S<sub>1.02</sub>
3. (Fe<sub>0.69</sub>Cu<sub>0.65</sub>Ni<sub>0.09</sub>Co<sub>0.01</sub>)<sub>1.44</sub>(Rh<sub>1.25</sub>Pt<sub>0.31</sub>Pd<sub>0.02</sub>)<sub>1.59</sub>S<sub>3.97</sub>
4. (Cu<sub>0.6</sub>Fe<sub>0.41</sub>Ni<sub>0.09</sub>Co<sub>0.01</sub>)<sub>1.11</sub>(Rh<sub>1.42</sub>Pt<sub>0.43</sub>)<sub>1.87</sub>S<sub>4.02</sub>
5. (Cu<sub>0.67</sub>Fe<sub>0.27</sub>Ni<sub>0.01</sub>)<sub>0.95</sub>(Rh<sub>1.61</sub>Pt<sub>0.26</sub>Ir<sub>0.12</sub>)<sub>1.99</sub>S<sub>4.06</sub>
6. (Cu<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.27</sub>Ni<sub>0.01</sub>)<sub>0.96</sub>(Rh<sub>1.65</sub>Pt<sub>0.25</sub>Ir<sub>0.11</sub>)<sub>2.01</sub>S<sub>4.03</sub>
7. Cu<sub>0.95</sub>(Rh<sub>1.64</sub>Pt<sub>0.26</sub>Ir<sub>0.1</sub>)<sub>2</sub>S<sub>4.05</sub>
8. (Cu<sub>0.7</sub>Fe<sub>0.26</sub>Ni<sub>0.01</sub>)<sub>0.97</sub>(Rh<sub>1.6</sub>Pt<sub>0.28</sub>Ir<sub>0.12</sub>)<sub>2</sub>S<sub>4.03</sub>
9. (Rh<sub>0.98</sub>Pt<sub>0.50</sub>Pd<sub>0.48</sub>Cu<sub>0.02</sub>Fe<sub>0.01</sub>)<sub>1.99</sub>As<sub>1.01</sub>
10. (Rh<sub>0.93</sub>Pd<sub>0.54</sub>Pt<sub>0.51</sub>Cu<sub>0.01</sub>)<sub>1.99</sub>As<sub>1.01</sub>
11. (Rh<sub>0.99</sub>Pd<sub>0.49</sub>Pt<sub>0.47</sub>Cu<sub>0.03</sub>)<sub>1.98</sub>As<sub>1.02</sub>

**Родарсенид (Rh,Pd,Pt)<sub>2</sub>As** встречается в виде мелких (до 10 мкм) округлых включений, приуроченных к краевым частям зерен изоферроплатины Pt<sub>3</sub>Fe. В составе родарсенида отмечаются (см. табл. 3) значительные содержания Pt (29—31 мас.%), что отличает его от известных в литературе. Содержание Pt (ат.%) находится примерно на уровне Pd, а сумма Pt+Pd равна Rh, т. е. формулу минерала можно представить в виде Rh<sub>2</sub>PdPtAs<sub>2</sub> (рис. 5).

Из описанных ранее, изученный родарсенид ближе всего по составу к родарсениду, встреченному в виде включений в Pt-Fe сплавах из золотоносных россыпей Чукотки [Gornostayev et al., 1999], массива Филиппа (Камчатка) [Сидоров и др., 2004], р. Коура (Горная Шория) [Подлипский, 1999], где содержание Pt (мас.%) достигает 20.17; 20.2; 22.3 соответственно.

**Сульфиды Cu и Fe.** В составе многофазных включений в ассоциации с купрородситом и брэггитом обнаружены сульфиды Cu и Fe (см. рис. 2, в). Мелкий размер выделений не позволил произвести точный анализ, но полуколичественно были идентифицированы кубанит CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> и идаит Cu<sub>3</sub>FeS<sub>4</sub>. Многофазные



включения можно рассматривать как продукт кристаллизации остаточного сульфидного расплава, обогащенного Pd, Rh, Fe, в пустотах в матрице изоферроплатины.

**Силикаты и оксиды.** В изоферроплатине распространены включения плагиоклаза, эпидота, магнетита, мелкозернистых агрегатов кварца с каолинитом, иногда лейкоксена. Минералы были диагностированы на сканирующем микроскопе. Плагиоклаз и эпидот частично или полностью заполняют пустоты размером до 40 мкм в матрице изоферроплатины, а кварц с каолинитом и лейкоксен часто выполняют трещины в зернах изоферроплатины. Плагиоклаз представлен средними членами ряда (андезин—лабрадор) и всегда содержит включения магнетита (см.

Рис. 4. Состав минералов группы тиошпинелей.

**Рис. 5. Состав родарсенида в системе Pd<sub>2</sub>As—Rh<sub>2</sub>As—Pt<sub>2</sub>As.**

1 — руч. Симоновский, 2 — р. Миасс (Урал) [Бритвин и др., 1999], 3 — Файфилд (Австралия) [Johan et al., 1991], 4 — р. Сребреника (Сербия) [Tarkian et al., 1997], 5 — р. Пустая (Камчатка) [Tolstykh et al., 2000], 6 — Гальмознан (Корякия) [Толстых и др., 2001], 7 — массив Филиппа (Камчатка) [Сидоров и др., 2004], 8 — Чукотка [Gornostayev et al., 1999], 9 — р. Коура (Горная Шория) [Подлипский, 1999].

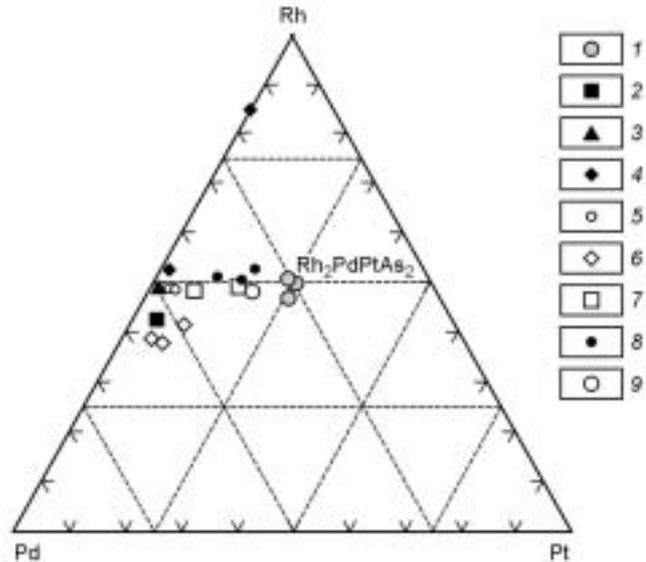


рис. 2, д). Мелкозернистые кварц-каолиновые агрегаты представляют собой угловатые зерна кварца размером до 30 мкм, сцементированные глинистыми минералами семейства каолинита (см. рис. 2, е).

Включения среднего плагиоклаза могут указывать на генетическую связь изоферроплатины с основными породами, а кварц, каолин, лейкоксен, а также эпидот свидетельствуют о гидротермальных преобразованиях первичного парагенезиса силикатных минералов.

#### ВЕРОЯТНЫЙ КОРЕННОЙ ИСТОЧНИК ИЗОФЕРРОПЛАТИНЫ

Известно, что источником изоферроплатиновой ассоциации в россыпях являются зональные дунит-клинопироксенитовые интрузии (уральский тип), где основная масса платины приурочена к хромитовым шпирам в дунитах. Такая изоферроплатина Pt<sub>3</sub>Fe характеризуется включениями самородного иридия (Pt-Ir распад) и высокопробного самородного осмия, а также устойчивым набором примесных элементов — Ir, Rh, Pd, Cu, Ni [Johan et al., 1990; Slansky et al., 1991; Толстых и др., 1997, 2001; Подлипский, 1999; Tolstykh et al., 2000]. Содержания примесных элементов в изоферроплатине преимущественно низкие (до 1.5 ат.%), хотя нередко отмечаются повышенные (первые проценты) значения [Подлипский, 1999]. Основной примесью является Ir, содержание которого в изоферроплатине может быть около 10 ат.% и выше (например, для массива Инагли — 14.5 ат.% [Толстых, Кривенко, 1997], для массива Филиппа — 8.3 ат.% [Сидоров и др., 2004]). В постмагматический этап по изоферроплатине в виде кайм замещения развиваются минералы ряда тетраферроплатина PtFe—туламинит Pt<sub>2</sub>FeCu или куперит PtS и сперрилит PtAs<sub>2</sub> в случае высокой фугитивности S и As [Платиноносность..., 1995; Tolstykh et al., 2000; Толстых и др., 2001; Сидоров и др., 2004]. Набор минералов ЭПГ, включенных в изоферроплатину, является закономерным результатом развития рудно-магматической системы на позднем ее этапе. Это широкий спектр сульфидов и сульфоарсенидов: минералы системы тиошпинелей купроиридсит—купрородсит—маланит Cu(Ir,Rh,Pt)<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, минералы рядов лаурит—эрликманит (Ru,Os)S<sub>2</sub>, кашинит—баунит (Ir,Rh)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, холлингвортит—ирарсит (Rh,Ir)AsS, инаглиит—кондерит Cu<sub>3</sub>Pb(Ir,Rh)<sub>8</sub>S<sub>16</sub>, а также куперит PtS и сперрилит PtAs<sub>2</sub> [Cabri et al., 1981; Hagen et al., 1990; Auge, Legendre, 1992; Подлипский, 1999; Сидоров и др., 2004]. Из типичных минералов ультраосновных пород в Pt<sub>3</sub>Fe часто присутствуют включения хромита, реже оливина и пироксена.

Эти особенности не характерны для изоферроплатины из золотоносной россыпи руч. Симоновский. В изоферроплатине отсутствуют включения самородного иридия и самородного осмия, не установлены повышенные концентрации примесных элементов, не распространены включения типичных второстепенных минералов. Наряду с купрородситом, во включениях отмечаются редкие минералы — кейтконнит, брэггит, висоцкит, родарсенид. Зерна изоферроплатины химически однородны, постмагматические изменения не проявлены. Отсутствие примеси Ni в изоферроплатине и отсутствие никелевых фаз указывает на обедненность никелем рудоформирующей системы. Многочисленные включения среднего плагиоклаза в матрице Pt<sub>3</sub>Fe, включения гидротермальных минералов (эпидота и лейкоксена) позволяют сделать вывод о связи изоферроплатины с основными породами, претерпевшими гидротермальные изменения. Значительные размеры зерен изоферроплатины (до 2 мм) несмотря на их окатанность свидетельствуют в пользу недалекого переноса.

Очевидно, что изученная нами изоферроплатина Pt<sub>3</sub>Fe по совокупности признаков не относится к типичной изоферроплатиновой ассоциации, генетически связанной с хромитовыми шпирами в дунитах концентрически-зональных массивов. Однако не исключено, что в платиноносных комплексах изоферроплатина может присутствовать не только в хромитовых обособлениях, но и в другой обстановке, в частности, в породах основного состава. Вероятным источником изоферроплатиновой ассоциации

руч. Симоновский могут быть мелкие тела слабоизученных габброидов, широко распространенные в районе (см. рис. 1) и образующие протяженные пояса. В южных районах Салаира установлен Верхнеяминский клинопироксенит-габбровый массив ордовикского возраста [Изох и др., 1995] в составе бехтемирского комплекса [Корреляция..., 2000]. Вполне возможно, что в северо-западной части Салаира также присутствуют мелкие тела бехтемирского комплекса, с которыми и связана выявленная нами изоферроплатиновая ассоциация в россыпи руч. Симоновский. Этот вариант представляется весьма правдоподобным, если учесть, что в Золотокитатской зоне Кузнецкого Алатау установлена платиноносность Кайгадатского перидотит-клинопироксенит-габбрового массива [Подлипский, Кривенко, 2001], сопоставляемого с Уральской платиноносной ассоциацией. В аллювии рек, размывающих Кайгадатский массив, присутствует ассоциация минералов, по ряду признаков сходная с ассоциацией руч. Симоновский.

Нельзя исключать и другой вероятный коренной источник выявленной нами изоферроплатины. Им могут оказаться габброиды печеркинского или орлиногорско-ариничевского комплексов, по составу не имеющие сходных черт с платиноносным комплексом Урала. Окончательно вопрос может быть решен только путем проведения специального исследования платиноносности габброидных тел Северо-Западного Салаира, а также изучения их состава и формационной принадлежности.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коренные источники изоферроплатины  $Pt_3Fe$  и россыпного золота руч. Симоновский разнотипны. Источником золота могут являться минерализованные золоторудные зоны и развитые по ним линейные коры выветривания. Вероятным коренным источником изоферроплатины являются габброиды, среди которых возможно присутствие тел, относящихся к уральскому платиноносному типу, или габброиды других комплексов.

Работа выполнена по гранту Президента РФ для поддержки ведущих научных школ РФ № НШ — 1573.2003.5.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Бритвин С.Н., Рудашевский Н.С., Богданова А.Н., Щербачев Д.К.** Палладодимит  $(Pd,Rh)_2As$  — новый минерал из россыпи реки Миасс (Урал) // Зап. ВМО, 1999, т. 2, с. 39—42.

**Высоцкий Н.К.** Платина и районы ее добычи, Т. 5. Л., Изд-во АН СССР, 1933, 240 с.

**Изох А.Э., Гибшер А.С., Владимиров А.Г., Токарев В.Н.** Ордовикские габброидные ассоциации Горной Шории и Салаира и их геодинамическая интерпретация // Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской области. Новокузнецк, 1995, с. 200—202.

**Корреляция** магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области / С.П. Шокальский, Г.А. Бабин, А.Г. Владимиров, С.М. Борисов. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал „Гео“, 2000, 187 с.

**Нестеренко Г.В.** Прогноз золотого оруденения по россыпям. Новосибирск, Наука, 1991, 190 с.

**Перегоедова А.В.** Физико-химическое поведение Pt и Pd в процессе кристаллизации  $Fe,Ni,Cu$ -содержащего сульфидного расплава и последующие субсолидусные превращения (по экспериментальным данным): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999, 25 с.

**Платиноносность** ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / Под ред. Г.В. Полякова, В.И. Богнибова. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1995, 151 с.

**Подлипский М.Ю.** Минералогия ферроплатиновой ассоциации в россыпях: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999, 24 с.

**Подлипский М.Ю., Кривенко А.П.** Новые данные о геологическом строении, составе и формационном типе Кайгадатского массива как коренного источника ферроплатиновой ассоциации в россыпях // Актуальные вопросы геологии и минерагении юга Сибири: Материалы научно-практической конференции. Новосибирск, 2001, с. 126—132.

**Подлипский М.Ю., Сидоров Е.Г., Толстых Н.Д., Кривенко А.П.** Кобальтсодержащий маланит и другие тиошпинели платины из россыпных проявлений реки Майор // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (4), с. 645—648.

**Сидоров Е.Г., Толстых Н.Д., Подлипский М.Ю., Пахомов И.О.** Минералы элементов платиновой группы из россыпи клинопироксенит-дунитового массива Филиппа, Камчатка // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (9), с. 1128—1144.

**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.

**Толстых Н.Д., Лапухов А.С., Кривенко А.П., Лазарева Е.В.** Минералы элементов платиновой группы в золотоносных россыпях Северо-Западного Салаира // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (6), с. 916—925.

**Толстых Н.Д., Сидоров Е.Г., Видик С.В., Козлов А.П., Вильданова Е.Ю.** Минералого-геохимические особенности минералов платиновой группы россыпного месторождения р. Левтыриниваям // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки (материалы II научной сессии Камчатского отделения ВМО). М., Научный мир, 2001, с. 106—136.

**Auge T., Legendre O.** Pt-Fe nuggets from alluvial deposits in eastern Madagascar // *Canad. Miner.*, 1992, v. 30, p. 983—1004.

**Cabri L.J.** The platinum group minerals // *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum Group Elements*. Canadian Inst. of Mining, Metallurgy, and Petroleum, 2002, v. 54, p. 13—131.

**Cabri L.J., Laflamme J.H.G., Stewart J.M., Turner K., Skinner B.J.** On cooperite, braggite, and vysotskite // *Amer. Miner.*, 1978, v. 63, p. 832—839.

**Cabri L., Criddle A., Laflamme J.** Mineralogical study of complex Pt-Fe nuggets from Ethiopia // *Bull. Miner.*, 1981, v. 104, p. 508—525.

**Cabri L.J., Harris D.C., Weiser T.W.** Mineralogy and distribution of platinum-group minerals (PGM) from placer deposits of the world // *Explor. Mining Geol.*, 1996, v. 5, № 2, p. 73—167.

**Gornostayev S., Crockett 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.

**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.

**Johan Z., Ohnenstetter M., Fischer W., Amosse J.** Platinum-group minerals from the Durance river alluvium, France // *Miner. Petrol.*, 1990, v. 42, p. 287—306.

**Johan Z., Slansky E., Ohnenstetter M.** Isoferroplatinum nuggets from Milverton (Fifield, N.S.W., Australia): a contribution to the origin of PGE mineralization in Alaskan-type complexes // *C. R. Acad. Sci. Paris*, 1991, v. 312, p. 55—60.

**Slansky E., Johan Z., Ohnenstetter M.** 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.

**Tarkian M., Krstic S., Klaska K.H., Lieszmann W.** Rhodarsenide, (Rh,Pd)<sub>2</sub>As, a new mineral // *Eur. J. Miner.*, 1997, v. 9, p. 1321—1325.

**Tolstykh N., Sidorov E., Laajoki K., Krivenko A., Podlipskiy M.** The association of platinum-group minerals in placers of the Pustaya River, Kamchatka, Russia // *Canad. Miner.*, 2000, v. 38, p. 1251—1264.

*Рекомендована к печати 10 мая 2006 г.  
Н.В. Соболевым*

*Поступила в редакцию 28 февраля 2005 г.,  
после доработки — 11 ноября 2005 г.*