

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**СИНГЕНЕТИЧНАЯ ПЛАТИНОИДАМ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
(НА ПРИМЕРЕ КОСЬВИНСКОГО ДУНИТОВОГО ТЕЛА
КЫТЛЫМСКОГО МАССИВА)**

В. П. Молошаг, А. А. Гараева, Л. К. Воронина

Результаты изучения минералогии элементов платиновой группы (ЭПГ) с помощью современных методов в Кытлымском и других массивов Платиноносного пояса, отражены в цикле работ 2002–07 гг., опубликованных Е.В. Пушкаревым с соавторами [4]. В публикациях Ю.А. Волченко с соавторами 2005–07 гг. описаны текстуры ЭПГ-содержащих хромититов в дунитах и пироксенитах, а также подтверждены ранее опубликованные результаты исследований состава минералов ЭПГ [1]. Наряду с известным коренным вы-

ходом клинопироксеновой жилы с палладий-платиновой минерализацией, открытой Н.В. Бутыриным в 1948 г., установлены новые проявления данного типа минерализации в аллювии и коренном залегании [2, 5]. В предлагаемой статье основное внимание уделено составу акцессорных сульфидов меди, железа и никеля (base-metal sulfide), поскольку они присутствуют в парагенетической ассоциации с минералами ЭПГ и, кроме того, могут быть индикаторами условий их образования.

Акцессорные сульфиды представлены хизлевудитом $\text{Hz} - (\text{Ni,Fe})_{3-x}\text{S}_2$, пентландитом $\text{Pn} - (\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$, моносulfидным твердым раствором $\text{Mss} - (\text{Fe,Ni})_{1-x}\text{S}$, промежуточным твердым раствором $\text{Iss} - (\text{Fe,Cu})\text{S}$ и – твердыми растворами Hz-Iss , Mss-Iss четверной системы Fe-Ni-Cu-S [6]. Особенностью состава хизлевудита и образуемых им твердых растворов является дефицит металлов по сравнению с идеальным соотношением металлов к сере, что отражено в табл. 1–2, где приведены составы их представительных образцов. Для существенно никелевой низкотемпературной модификации это соотношение составляет 3 : 2 при преобладании никеля, что отвечает формуле Ni_3S_2 . Впервые обнаруженные нами твердые растворы хизлевудита Hz-Iss ранее получены экспериментальным путем при температуре 760°C [6]. Исходя из наличия изо- и тетраферроплатины в парагенезисе с названными сульфидами и данных упомянутой работы можно заключить, что логарифм летучести серы примерно составлял –5.5. Состав представительных образцов интерметаллидов платины при-

Таблица 1. Состав акцессорных сульфидов, вес. %

№ обр.	фаза	Fe	Pt	Cu	S	Ni	Сумма
1026	H _z	33.48	0.04	0.07	29.56	34.63	99.78
968	M _{ss}	0.32	0.21	66.28	33.69	0.16	100.66
968	P _n	38.48	0.00	0.00	33.86	27.76	100.10
960	H _{z-Iss}	1.93	0.00	56.21	28.09	14.22	100.44
960	P _{t-Hz-Iss}	7.35	32.19	30.73	23.10	8.60	100.98
983	H _z	54.42	0.03	0.59	24.37	18.87	98.28
983	H _z	54.05	0.00	1.27	25.78	19.41	100.51
983	H _{z-Iss}	43.25	0.00	21.33	20.19	14.97	99.74
961-1	M _{ss-Iss}	8.44	0.00	35.63	34.03	22.15	100.27
961-2	M _{ss-Iss}	14.02	8.98	10.53	32.51	25.02	96.45
961-3	M _{ss-Iss}	9.14	0.06	32.18	33.82	23.35	99.21

Примечание. H_z – хизлевудит, $(\text{Ni,Fe})_{3-x}\text{S}_2$; P_n – пентландит, $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$; M_{ss} – моносulfидный твердый раствор, $(\text{Fe,Ni})_{1-x}\text{S}$; I_{ss} – промежуточный твердый раствор, $(\text{Fe,Cu})\text{S}$; H_{z-Iss}, M_{ss-Iss} – серии твердых растворов четверной системы Fe-Ni-Cu-S [6]. Анализы, представленные в табл. 1–3, выполнены на микроанализаторе JXA-5. Содержания Ir, Os ниже чувствительности метода. Весовые количества (%) Pd и Hg в образце 961-2 составляют 4.24 и 1.14 соответственно, в образце 961-3 – 0.65 и 0.00.

Таблица 2. Состав акцессорных сульфидов, атом. %

№ обр.	фаза	Fe	Pt	Cu	S	Ni	Σ M	S	x
1026	H _z	28.37	0.01	0.05	43.64	27.93	2.5827	2.0000	0.4173
968	M _{ss}	0.27	0.05	49.59	49.96	0.13	1.0526	1.0000	
968	P _n	31.06			47.62	21.32	9.2944	8.0000	
960	H _{z-Iss}	1.69		43.42	43.00	11.89	2.3226	2.0000	0.6774
960	P _{t-Hz-Iss}	8.00	9.97	29.37	43.78	8.90	2.5710	2.0000	
983	H _z	47.18	0.01	0.45	36.80	15.57	2.6106	2.0000	0.3894
983	H _z	45.60		0.94	37.88	15.58	2.6370	2.0000	0.3630
983	H _{z-Iss}	38.82		16.82	31.57	12.79	2.7302	2.0000	0.2698
961-1	M _{ss-Iss}	7.03		26.09	49.34	15.68	1.0894	1.0000	
961-2	M _{ss-Iss}	12.88	2.35	8.51	52.03	21.87	0.9347	1.0000	
961-3	M _{ss-Iss}	7.69	0.01	23.78	49.54	18.68	1.0743	1.0000	

Примечание. Атомные количества (%) Pd и Hg в образце 961-2 составляют 2.05 и 0.29 соответственно, и в образце 961-3 – 0.29 и 0.00.

Таблица 3. Химический состав интерметаллидов платины, самородных металлов и амальгам

№ обр.	формула	Fe	Pt	Cu	Ir	Pd	Hg	Os	S	Ni	Сумма
Интерметаллиды платины											
1026	Pt ₂ FeCu	10.08	75.28	12.73	0.00	0.20	0.00	0.00		0.00	99.26
1073	Pt ₂ FeCu	17.55	67.71	12.27	0.00	1.18	0.00	0.00		0.70	99.41
1073	Pt ₂ FeCu	15.13	71.33	11.49	0.00	0.91	0.00	0.00		0.70	99.56
1073	PtFe	20.73	75.01	1.56	0.89	1.11	0.00	0.00		0.35	99.65
961	Pt ₂ FeCu	10.97	72.47	13.85	0.00	0.00	0.00	0.00		1.21	98.51
1081	Pt ₂ FeCu	13.15	74.30	10.28	0.00	1.45	0.00	0.00		0.61	99.79
1081	(Pt, Ir) ₃ Fe	7.99	48.69	3.46	30.52	4.10	0.00	2.33		0.54	97.63
968	Pt ₂ FeCu	11.72	69.08	14.42	0.00	0.00	0.00	3.71		0.06	98.99
979	Pt ₂ FeCu	14.61	73.22	10.62	0.00	0.59	0.00	0.00		0.00	99.04
Самородная медь											
1026		0.67	0.03	98.44		0.00				0.15	99.28
1026		0.32	0.00	98.07		0.00				0.00	98.39
968		0.22	0.30	97.88		0.29				0.17	98.86
968		0.23	0.20	98.02		0.00				0.15	98.61
983		11.32	0.00	88.41		0.00				0.00	99.73
Амальгамы											
1026		5.75	27.31	5.02	0.00	1.43	35.96	4.33	0.00	0.00	96.80
1026		1.75	0.46	36.40	0.00	17.50	37.66	4.67	0.20	0.54	99.18
1026		15.34	55.40	0.96	3.98	1.02	7.90	8.44	0.05	1.12	94.21
961		7.77	0.94	6.94	0.00	24.74	59.57	0.00	0.00	0.00	99.97
968		0.13	0.62	1.76	0.00	30.34	63.41	3.11	0.00	0.22	99.59
968		0.48	0.64	10.56	0.00	25.35	58.94	1.98	0.00	0.38	98.33
968		4.57	0.33	11.29	0.00	24.78	54.99	1.78	0.00	0.38	98.14
968		4.79	30.20	27.70	0.00	15.70	18.18	1.77	0.00	1.11	99.44
961		7.77	0.94	6.94	0.00	24.74	59.57	0.00	0.00	0.00	99.97

Примечание. В интерметаллидах платины содержания S не определялись; анализы на Ir, Os, Hg, S в самородной меди не проводились.

веден в табл. 3. Косвенным подтверждением данной умеренной оценки летучести серы является отсутствие железо-никелевых интерметаллидов и борнита в ассоциации с исследуемыми минералами. Заслуживает внимания достаточно часто встречающаяся в данной ассоциации самородная медь, которая может содержать примеси палладия и платины (табл. 3).

Наряду с этим в клинопироксенитах Бутыринской жилы нами обнаружена ранее неизвестная в коренных и россыпных месторождениях платины на Урале природная амальгама палладия – потарит (Pd,Cu)Hg [2, 5]. Состав данного минерала отличается разнообразием примесей и широким диапазоном изменения их концентрации (табл. 3). Потарит является одной из ведущих минеральных форм палладия, что подтверждено также исследованиями Ю.А. Волченко с соавторами [1]. Среднее содержание ртути в гипербазитах данных массивов составляет $1.5 \cdot 10^{-6}\%$, но в отдельных участках отмечаются спорадически повышенные значения, достигающие $n \cdot 10^{-5}\%$, которые интерпретируются с позиций позднего, наложенного поступления ртути по зонам глубинных разломов [3]. Эти представления согласуются с поздним внедрением клинопироксенитовых жил, содержащих палладиевую и ртутную минерализацию, в дуниты.

Таким образом, состав аксессуарных сульфидных минералов и интерметаллидов платины в перспективе может служить одним из индикаторов физико-химических условий платиноидной минерализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волченко Ю.А., Иванов К.С., Коротеев В.А., Оже Т. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа. Часть II // Литосфера. 2007. № 4. С. 73–101.
2. Молошаг В.П., Хачай О.А., Гараева А.А., Нечкин Г.С., Неустроева И.И., Воронина Л.К. Минералогическо-геохимические особенности распределения палладий-платиновой минерализации в дунитах (на примере дунитового тела Косьвинского плеча) // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 375–378.
3. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1986. 232 с.
4. Пушкарев Е.В., Аникина Е.В., Гарути Дж., Заккарини Ф. Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса // Литосфера. 2007. № 3. С. 28–65.
5. Хачай О.А., Молошаг В.П., Хачай О.Ю., Новгородова Е.Н., Долманский Ю.К. Комплексный геолого-

геофизический подход к изучению процесса россыпеобразования на флангах Лобвинского месторождения платины // Геофизический журнал. 2005. Т. 27. № 4. С. 667–677.

6. *Peregoedova A., 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. Min.* 2002. V. 40. P. 527–561.