

**БУТЫРИНСКОЕ ПАЛЛАДИЕВО-ПЛАТИНОВОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ
КАМЕННО-КОСЬВИНСКОГО МАССИВА – УРАЛЬСКАЯ ВЕРСИЯ
ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПЕГМАТИТОВОГО ПОДТИПА
(TYPE P-UNIT)**

Ю.А. Волченко, В.А. Коротеев, Л.К. Воронина, С.И. Нестерова

Благодаря трудам многих поколений исследователей, Урал был и остается эталонным полигоном мирового значения при рассмотрении месторождений платиновых металлов в хромитоносных дунитах зональных мафит-уль-

трамафитовых комплексов уральского (урало-аляскинского) типа. Уральский тип коренных месторождений платиновых с осмистым иридием руд впервые был выделен Н.К. Высоцким [1913, 1923], а позднее детализирован А.Н. За-

варицким [1928], А.Г. Бетехтиным [1935] и другими исследователями. В объеме руд уральского типа, связанных в первую очередь с дунитовыми членами габбро-пироксенит-дунитовой формации Платиноносного пояса Урала, данные исследователи на основе минералого-геохимических критериев выделяют три типа платинопроявлений, различающихся относительной степенью связи хромшпинелидов и платины, морфологией, размером и составом выделений платины в хромшпинелидах и оливинах: хромитовый, дунитовый и промежуточный (переходной) типы [Высоцкий, 1923; Бетехтин, 1935; Кашин и др., 1956]. Отмечалось, что для платинопроявлений хромитового типа характерна относительно крупная, часто самородковая платина

крайне сложной ксеноморфной формы, содержащая повышенные количества платины и иридия. Напротив, для платинопроявлений дунитового (и отчасти переходного) типа характерна относительно мелкая идиоморфная платина, содержащая повышенные количества железа, меди, никеля и пониженные – платины и иридия.

В 1941 г. при проведении поисковых работ на платину в дунитах Каменно-Косьюинского массива Кытлымского комплекса Н.В. Бутыриным вблизи контакта с клинопироксенитами были выявлены небольшие тела палладие-платиноносных пироксенит-пегматитов со специфичной хромтитаномагнетитовой минерализацией (рис. 1А). Наиболее крупное из

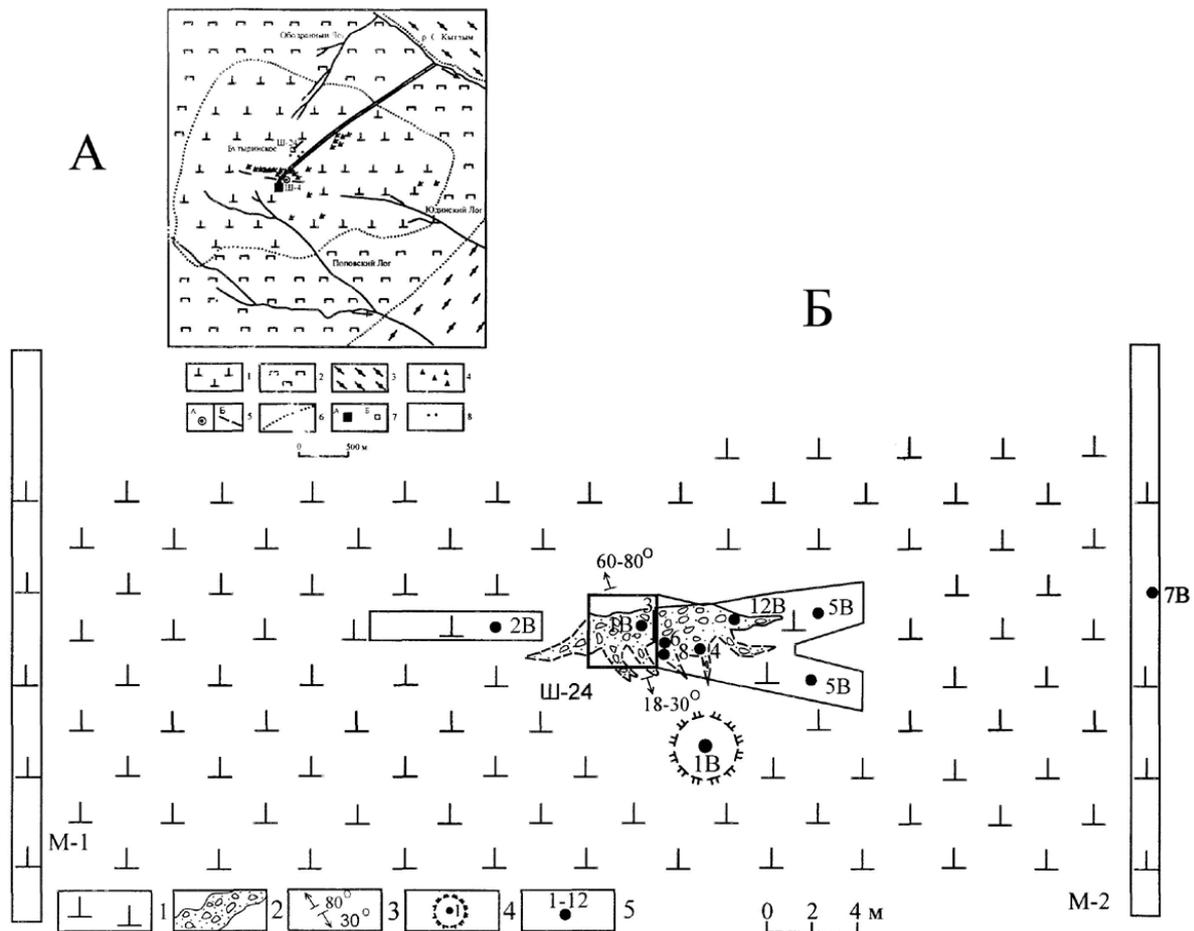


Рис. 1. А. Схематическая геологическая карта массива Косьюинский Камень.

1 – дуниты; 2 – клинопироксениты; 3 – кытлымиты; 4 – гнезда и жилы хромитов; 5 – хромит-платиновые рудные тела: а – столбо-трубообразные; б – зоны линейных жил; 6 – геологические границы; 7 – горные выработки: а – глубокая шахта № 4; б – Бутыринское рудопроявление, шурф № 24; 8 – места отбора проб на платину.

Б. Геологический план-схема горных выработок и схема опробования Бутыринского палладиево-платинового рудопроявления.

1 – дуниты; 2 – пироксенит-пегматиты с включениями обломков дунитов; 3 – элементы залегания рудной жилы; 4 – рудный штабель ш-24; 5 – места отбора проб для анализа на платиновые металлы.

**РУДООБРАЗОВАНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ,
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

них, известное как Бутыринское рудопроявление, вскрыто шурфом № 24 и канавами-рассечками из этого шурфа (рис. 1Б). Благодаря исследованиям, выполненным Н.В. Бутыриным, а так же А.А. Ивановым и Н.В. Лизуновым [Иванов, Лизунов, 1944] в пределах Платиноносного пояса Урала был намечен пироксенитовый, палладиевый тип месторождений, сопоставленный позднее с известными платинопалладиевыми рудами норитового типа [Иванов, Лизунов, 1944].

Расположенное в 500 м от зоны контакта дунитов с клинопироксенитами, на водоразделе Ободранного и Юдинского Лога, рудное тело сложено разномерными и крупномерными клинопироксенитами с вкрапленным и прожилковым хром-титаномагнетитовым оруденением. Пироксенит-пегматитовая жила имеет сложную ветвистую форму и неоднородное внутреннее строение (рис. 1Б). Длина жилы по простиранию более 6 м, мощность ее изменяется от 5-10 см на выклинивании до 1.2 м в раздувах. Простирание жилы СВ 60-70°, с падением на СЗ под углом 60-80°, апофизы основной жилы имеют ЮЗ простирание с пологим (18-30°) падением на ЮВ. Контакты жилы и ее

апофиз с дунитами резкие и извилистые. В зонах контактов дунит серпентинизирован интенсивнее, и здесь появляются каймы осветления мощностью до 5 мм. Пироксенит-пегматитовая жила сечет деформационную полосчатость дунитов под углами 40-45°. В раздувах жила содержит округлые, эллипсоидальные, угловатые и бесформенные останцы дунита с размером в поперечнике от 0.5-1-2 до 10-15 см, количество которых достигает иногда 60-70% от объема жилы. На выклинивании количество их уменьшается до 10%, в апофизах они часто вообще отсутствуют. Жила сложена клинопироксеном ряда диопсид-геденбергит с низкой железистостью (7.0-12.0 мол.%) и небольшим количеством оливина с железистостью 8.2-8.6 мол.% (табл. 1). Другие силикатные минералы представлены обыкновенной роговой обманкой и ортопироксеном типа энстатита. Главным рудным минералом является хром-титаномагнетит, обладающий специфичным и аномальным для Платиноносного пояса составом (табл. 2). Хром-титаномагнетит образует прожилковидные участки густовкрапленного и сплошного сложения с каймами мелкозернистого клинопироксена, а также участки с вкрапленной текстурой сиде-

Таблица 1

Химический состав (мас.%) оливинов из руд пегматитового подтипа

№ пп	№ проб	Основные компоненты							f, мол.%
		SiO ₂	FeO ⁺	MgO	CaO	MnO	NiO	сумма	
1	В-1-2-4	40.90	7.96	49.85	0.49	0.26	-	99.46	8.23
2	В-1-2-5	40.96	8.41	50.10	0.56	0.23	-	100.26	8.61

Примечание. Образцы из Бутыринского рудопроявления. Анализы выполнены методами РСМА на приборе JXA-5 в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитик Л.К. Воронина). FeO⁺ – все железо в виде FeO.

Таблица 2

Химический состав (мас.%) хромтитаномагнетитов из руд пегматитового субтипа

№ пп	№ обр.	Основные компоненты							Cr/(Cr+Al)	Mg/(Mg+Fe ²⁺)
		TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO ⁺	MnO	MgO	Сумма		
1	Б1-1	1.98	7.14	28.35	55.95	0.44	5.28	99.14	0.73	0.27
2	Б1-2	1.98	5.72	27.06	59.24	0.29	4.72	99.00	0.76	0.25
3	Б1-3	2.60	6.17	25.17	57.35	0.29	5.78	97.36	0.73	0.31
4	Б1-4	2.14	5.96	25.98	57.92	0.29	7.19	99.48	0.75	0.37
5	Б1-5	2.10	6.00	23.27	63.10	0.32	6.40	101.19	0.72	0.32
6	Б1-6	2.74	5.55	22.61	64.26	0.44	4.14	99.30	0.73	0.22
7	Б1-7	2.44	5.97	22.13	64.74	0.29	4.14	99.69	0.71	0.22

Примечание. Образцы из Бутыринского рудопроявления. Анализы выполнены методами РСМА на приборе JXA-5 в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитик Л.К. Воронина). FeO⁺ – все железо в виде FeO.

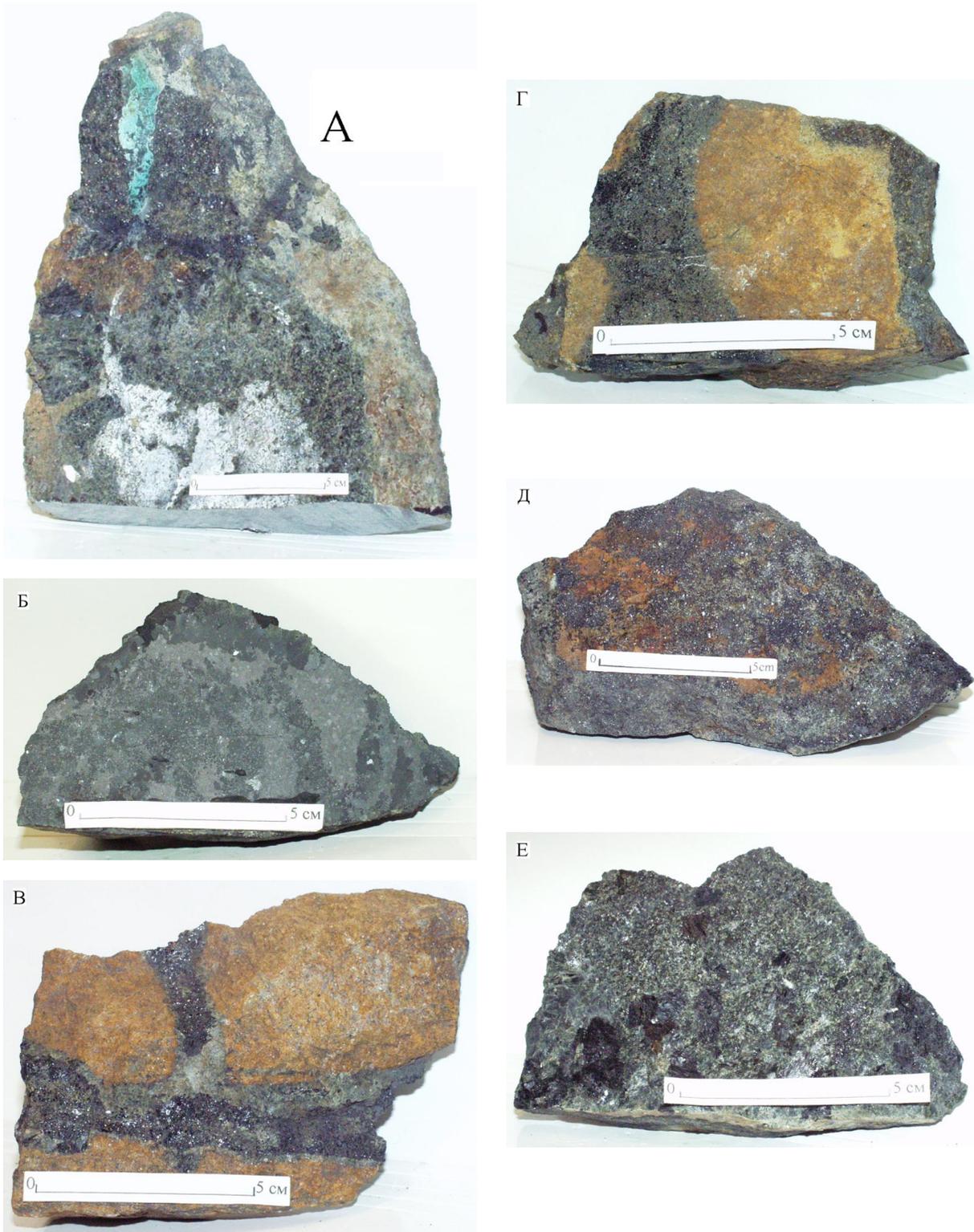


Рис. 2. Характерные текстуры платиновых руд пегматитового подтипа.

А. Пржилково-вкрапленная текстура руд в приконтактовой части жилы оливинсодержащих клинопироксенит-пегматитов с обломками мелкозернистых дунитов. Черное и темно-серое – хром-титаномagnetит. Зеленовато-светло-серое – клинопироксен. По трещинам – пленки карбоната и малахита – светло-серое и белое. Коричнево-бурое – включения бесформенных обломков дунита. Рудопоявление Бутыринское, шурф № 24. Обр. 27В. S натуральной величины.

РУДООБРАЗОВАНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Б. Пироксенит-пегматиты полосчатые с мелкопрожилково-вкрапленным хром-титаномагнетитовым оруденением (сидеронитового типа). Серое – хром-титаномагнетит. Темно-серое – клинопироксен. Черное – крупные секущие кристаллы роговой обманки. (Белое – блики на плоскости спайности клинопироксена). Рудопроявление Бутыринское, шурф № 24. Обр. 30В. Натуральная величина.

В. Центральная часть жилы пироксенит-пегматитов, обогащенная обломками мелкозернистых дунитов. Обломки дунитов прямоугольной и полигональной формы (светло-коричневое) размером 5x15 см цементируются хром-титаномагнетитом (черное) и клинопироксеном (светло-серое), формирующими протяженные прожилки мощностью 1-3 см. Рудопроявление Бутыринское, шурф № 24. Обр. 28В. Натуральная величина.

Г. Крупный (4x12 см) обломок мелкозернистого массивного дунита (светло-коричневое) в клинопироксенит-пегматитовой жиле в окружении сплошного хром-титаномагнетита (темно-серое и черное). Рудопроявление Бутыринское, шурф № 24. Обр. 28В. Натуральная величина.

Д. Хром-титаномагнетитовые руды сидеронитовой текстуры (темно-серое и черное) в жиле клинопироксенит-пегматитов (светло-серое и серое) с многочисленными мелкими (0,5x0,5-1x3 см) бесформенными обломками дунитов (буровато-коричневое). Рудопроявление Бутыринское, шурф № 24. Обр. 29В. Натуральная величина.

Е. Приконтактовая часть жилы клинопироксенит-пегматитов (светло-серое) с бедным вкрапленным хром-титаномагнетитовым оруденением, многочисленными мелкими прожилками и включениями крупных (0,5x1-2x2 см) кристаллов роговой обманки (черное). Рудопроявление Бутыринское, шурф № 24. Обр. 31В. Натуральная величина.

ронитового и петельчатого типа (рис. 2). Размер индивидуальных зерен хром-титаномагнетита изменяется от 0.5 до 1 мм. В силикатных минералах присутствуют и более крупные идиоморфные включения хромтитаномагнетита размером до 1-2 мм. Из других рудных минералов в жиле присутствуют пирит, халькопирит, пирротин, пентландит, ковеллин, малахит, медь самородная, минералы платиновых металлов. Содержание платиноидов в рудах, по данным Н.В. Бутырина, составляет от 34.8 до 49.7 г/т при ведущей роли платины и палладия, по данным П.Я. Яроша и В.Г. Фоминых [1976], от 1-5 до 20-60 г/т при аналогичной специализации руд. По результатам проведенного нами детального опробования (рис. 1) содержание платины от 1.0 до 12.0 г/т, содержание палладия от 0.2-1 до 17.2 г/т при небольших количествах родия и золота (табл. 3). Несмотря на скромные размеры, этот объект издавна привлекал к себе пристальное внимание из-за высоких суммарных концентраций платиновых металлов, аномальной палладиенности руд и необычного состава хромтитаномагнетита. Невзирая на совершенно недостаточную изученность, эти рудоносные пироксенит-пегматиты постоянно рассматривались в качестве генотипа месторождений платины “пироксенитового палладиевого типа” [Иванов, Лизунов, 1944]. Предприня-

тое нами детальное изучение геологических и минералого-геохимических особенностей этого объекта приводит к выводу, что мы имеем дело с новым, третьим после хромитового и дунитового, подтипом платинометалльного оруденения в объеме уральского типа руд [Волченко, 1999; Волченко и др., 2002; Волченко, Коротеев, 2003]. Опробование Бутыринского рудопроявления выявило неравномерное распределение платиновых металлов в рядовых пробах (от 1-3 до 11 г/т) при следующем относительном убывании ЭПГ: платина, палладий, иридий, родий, осмий, рутений. Отношение платины и палладия в рудах 0.5-1:1 и 2:1. В рудовмещающих фоновых дунитах из зоны контакта с пироксенитовой жилой содержание платиновых металлов резко падает – до 30-170 мг/т по платине и до 5-10 мг/т по палладию. Отчетливого негативного ореола в рудовмещающих дунитах не обнаружено. Из канав-рассечек, проследивших рудоносную жилу, а так же из отвалов шурфа № 24, в котором она впервые и была обнаружена, нами отобрана крупнообъемная проба весом 52 кг, характеризующая без изъятия весь материал метрового сечения жилы от контакта до контакта, включая и ксеногенные останцы дунита. После обычной процедуры пробоподготовки, крупнообъемная проба Б-1 была проанализирована и затем обогащена по комбиниро-

Содержание платиновых металлов и золота в рудах и породах
Бутыринского палладиево-платинового рудопроявления

№ пп	№ проб	Содержание, г/т				Материал проб
		Pt	Pd	Rh	Au	
1	1В	1.54	1.20	0.015	0.03	Пироксенит-пегматиты с прожилково-вкрапленным хром-титаномагнетитовым оруденением
2	3В	6.50	3.20	0.012	0.064	
3	4В	11.00	11.20	0.05	0.03	Апофиза пироксенит-пегматитовой жилы с тонкопрожилковым хром-титаномагнетитовым оруденением
4	2В	0.05	0.01	<0.005	<0.02	Фоновые дуниты, вмещающие пироксенит-пегматитовую жилу
5	5В	0.17	0.076	0.001	0.019	Дунит, вмещающий пироксенит-пегматитовую жилу (из двух параллельных сечений)
6	6В	6.00	3.00	0.05	0.03	Пироксенит-пегматиты с вкрапленно-тонкопрожилковым хром-титаномагнетитовым оруденением
7	7В	0.033	<0.01	<0.005	<0.02	Фоновые дуниты, вмещающие пироксенит-пегматитовую жилу
8	8В	5.22	5.56	0.012	0.064	Приконтактная часть пироксенит-пегматитовой жилы с большим количеством крупных включений дунитового материала
9	9В	12.10	17.36	0.022	0.165	Сплошная хром-титаномагнетитовая руда на контакте с ксеногенными обломками дунитового материала
10	10В	11.76	20.08	0.070	0.115	Пироксенит-пегматит оруденелый с многочисленными мелкими включениями обломков дунита
11	11В	0.41	0.26	0.005	0.03	Пироксенит-пегматит с вкрапленным пятнисто-полосчатым хром-титаномагнетитовым оруденением
12	12В	0.29	0.31	0.001	0.01	Пироксенит-пегматит слабо оруденелый с вкрапленниками и прожилками амфибола из зоны контакта с вмещающими дунитами

Примечание. Анализы на ЭПГ и золото выполнены в Институте геологии и геохимии УрО РАН химико-спектральным методом по аттестованной и сертифицированной методике (аналитики И.И. Неустроева, Ю.П. Любимцева).

ванной (гравитационно-флотационной схеме). Выполнен анализ всех промпродуктов и концентратов на благородные и цветные металлы, а также хром и серу (табл. 4). Суммарное содержание платиновых металлов в композитной пробе составляет около 3 г/т, при содержании оксида хрома 2.9 мас.%. В флотационных концентратах содержание платиноидов около 47 г/т при содержании оксида хрома 1.38 мас.%, меди 1.12 мас.%, никеля 0.16 мас.% и серы 0.77 мас.% (табл. 4). Из полученных концентратов

изготовлены цементационные препараты (полированные шлифы), в которых найдены и впервые изучены многочисленные (более 75 фаз) мелкие и тонкие зерна платиновых и палладиевых минералов, находящихся в сростании с хром-титаномагнетитом, клинопироксеном, амфиболом и различными сульфидами цветных металлов. Рудообразующие хром-титаномагнетиты на диаграмме "хромистость-магнезиальность" формируют изолированное поле составов с параметрами Cr/Cr+Al=0.71-0.76 и

РУДООБРАЗОВАНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ,
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Таблица 4

Результаты флотации палладиево-платиновых руд Бутыринского рудопоявления.
Проба Б-1

	г/т							мас.%				
	Pt	Pd	Ir	Rh	Os	Ru	Au	Cr ₂ O ₃	Cu	Ni	Co	S
к-т	24.47	17.53	2.98	0.55	0.51	0.23	1.80	1.38	1.120	0.160	0.013	0.770
пр. прIII	13.30	10.90	0.24	0.29	0.042	0.030	0.70	1.62	0.086	0.073	0.007	0.076
пр. прII	5.12	3.60	0.045	0.07	0.041	0.070	0.68	1.65	0.037	0.058	0.006	0.043
пр. прI	3.20	2.25	0.040	0.064	0.028	0.026	0.45	2.10	0.020	0.058	0.005	0.022
к-т контр. флотац.	3.90	2.70	0.040	0.064	0.04	0.017	0.61	1.76	0.028	0.058	0.005	0.030
хвосты контр. флотац.	0.88	0.51	0.010	0.014	0.019	0.010	0.50	2.99	0.007	0.046	0.006	0.012
исходн. руда	1.54	1.18	0.060	0.015	0.035	0.015	0.03	2.90	0.014	0.050	0.006	0.015

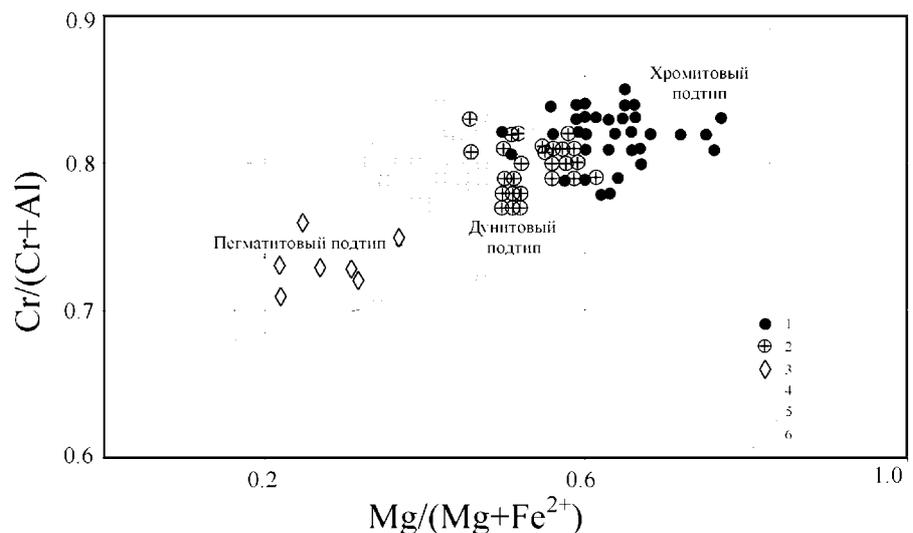
Примечание. Анализы на ЭПГ выполнены в Институте геологии и геохимии УрО РАН химико-спектральным и спектрофотометрическим методами по аттестованным и сертифицированным методикам с чувствительностью: Pt 10 мг/т, Pd 2 мг/т, Rh 5 мг/т, Ir 10 мг/т, Ru 6 мг/т, Os 6мг/т (аналитики И.И. Неустроева, Ю.П. Любимцева, О.А. Березикова).

Mg/Mg+Fe²⁺=0.22-0.37, характеризующее эволюцию составов хромферришпинелидов в месторождениях платиновых руд уральского типа на заключительной стадии их образования (рис. 3). Сосуществующие с ними оливины также имеют повышенную железистость (8.2-8.6 мол.%) и содержат максимальное количество CaO – 0.49-0.56 мас.% (табл. 1). Гранулометрический

анализ платины, проведенный на основе изучения 75 выявленных зерен, показал, что 87% из них относится к классу менее 100 мкм, 11.5% к классу 100-400 мкм, и лишь 1.5% зерен к классу более 400 мкм. Полифазные (2-4 фазные) выделения платиновых и палладиевых минералов часто имеют сложное пятнистое и зональное строение с неравномерным распределением

Рис. 3. Диаграмма “хромистость–магнезиальность”, демонстрирующая дискретность составов рудообразующих и акцессорных хромшпинелидов в различных подтипах платинометалльных руд месторождений уральского типа.

1 – хромитовый подтип; 2 – дунитовый подтип; 3 – пегматитовый подтип; 4 – хромшпинелиды сегрегационных неплатиноносных шпиров и гнезд; 5 – акцессорные хромшпинелиды; 6 – границы поля составов по результатам анализа 107 проб из двух массивов Платиноносного пояса Урала.



основных минералообразующих компонентов – платины, палладия, железа, меди, ртути. Ксеноморфные сложные и пластинчатые зерна и кристаллические сростки зерен платины с периферии обрастают палладиевыми фазами и амальгамами, а также имеют каймы из самородной меди. Платиновые фазы идиоморфной формы встречаются крайне редко, имеют размеры 10-15 до 20-40 мкм и включены в различные силикатные минералы. Основные платиновые и палладиевые минералы руд представлены палладистой и медистой тетраферроплатиной, палладистой и медистой ферроникельплатиной, палладистым туламинитом, а также амальгамами платинисто-палладистой меди с широко варьирующими стехиометрическими соотношениями от Me_9Hg_1 - Me_3Hg_1 до Me_3Hg_1 - Me_2Hg_1 (табл. 5). Установленная широкая распространенность амальгам палладия и меди определяет и объясняет давно выявленное наличие ртути в материале уральских платиновых россыпей. Выявленное повышенное и высокое содержание палладия в тетраферроплатине (до 2-5.2 мас.%), туламините (до 6.5 мас%) и амальгамах меди (до 16-35 мас.%) позволило впервые установить новые минеральные виды платины в рудах уральского типа: палладистую тетраферроплатину, палладистый туламинит, палладиевые амальгамы (табл. 5). В парагенных перечисленным платинометальным минералам сульфидах и арсенидах цветных металлов установлены ощутимые примесные количества платиноидов. Так, в арсенидах никеля типа маухерита содержится до 6-7 мас.% платины, до 1 мас.% палладия и иридия. В медистом пентландите, содержащем до 12-20 мас.% меди, установлены десятые доли (0.25-0.60) мас.% платины и палладия. Железо-платиновые сплавы, обогащенные палладием и медью, составляют более 60% от идентифицированных минеральных фаз (табл. 5). Около 40% встреченных фаз представлены амальгамами переменного состава на основе палладия, платины и меди (табл. 5). Менее 1% фаз сложено сульфидами и арсенидами цветных металлов и продуктами их изменения, содержащими ощутимые примесные количества палладия, платины и родия. Отношения суммы ЭПГ в платине (палладистой тетраферроплатине, палладистом туламините) к сумме благородных примесей в ней изменяется в следующих пределах (ат.%):(53.82/46.18 (53.76/46.24) и 48.01/51.99 (45.73/54.27). Содержание меди в этих составах от 13.5 до 22.0 ат.% с возраста-

нием в отдельных образцах до 24.0-27.5 ат.%. Содержание никеля в них от 0.57 до 2.0-5.5 ат.% с возрастанием в палладистой ферроникельплатине до 28.5 ат.%. Иридий является характерной примесью в этих составах, но присутствует в небольших количествах от 0.3 до 1.0 ат.%, в единичных случаях до 1.5 ат.%. Палладий – наиболее типичная примесь в платине, присутствующая в количестве от 2.0 до 8.0 ат.%, в единичных случаях до 16.2 ат.%. Осмий и рутений отсутствуют, родий содержится в минимальных количествах – около и менее 0.1 ат.%. Составы амальгам варьируют в широких пределах (табл. 5): отношение суммы всех ЭПГ в них к сумме благородных примесей изменяется от 63.63/36.37 до 39.05/60.95. Содержание платины в них от 1.9 до 25.8 ат.%, а палладия при этом от 17.3 до 39.9 ат.%. Медь содержится в количестве от 6.6 до 36.0-40.0 ат.%. Специфика платино-палладиевых амальгам определяется постоянным присутствием меди и наличием иридия в количестве от 0.2-0.5 до 1.0-3.0 ат.%, в единичных случаях до 5.0-6.0 ат.%. Зерна минералов платиновых металлов чаще имеют 1-2 фазное строение, но иногда состоят из сростков 3-6 минеральных фаз различного состава. Преобладают (около 46% фаз) составы со стехиометрическими соотношениями, приближающимися к 1:1 (ЭПГ 0.96-1.08 базовые металлы (БМ) 0.92-1.04). Более редки (около 12% фаз) составы с ЭПГ 1.83-2.15 БМ 1.85-2.17. Среди амальгам платинисто-палладистой меди (около 40% фаз) резко преобладают составы с соотношениями 5:1-3:1 (ЭПГ 4.88, БМ 1.12 – ЭПГ 2.95 БМ 1.05). Таким образом, на основе изучения оптических свойств и соотношения основных компонентов в минералах, можно утверждать, что в рудах пегматитового подтипа наиболее распространены тетраферроплатина палладистая и медистая и туламинит палладистый. Менее распространены, но очень характерны, амальгамы платинисто-палладистой меди. Редко встречаются составы, отвечающие палладистой и медистой ферроникельплатине. Изучение распределения основных минералообразующих компонентов по профилям и площади отдельных зерен платины, имеющих размеры от 50x50 до 100x200 микрон, выявило их характерную неоднородность, определяемую пятнистым распределением концентраций этих элементов и наличием узких (10-25 микрон) кайм и полос, сложенных амальгамами и самородной медью, содержащей примесные количества

РУДООБРАЗОВАНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ,
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Таблица 5

Химический состав (мас.%) минералов платиновых металлов из руд пегматитового подтипа

№пп	№обр.	Pt	Pd	Rh	Ir	Au	Fe	Cu	Ni	Hg	Сумма
1	Б-1-10	71.96	4.20	0.02	0.60	0.02	14.00	6.62	0.26	0.63	98.31
2	Б-1-13	70.50	5.20	0.11	1.04	0.00	11.60	8.20	0.92	1.04	98.61
3	Б-1-19	70.20	2.00	0.04	1.80	0.00	11.61	10.90	0.64	0.90	98.09
4	Б-1-21	71.50	1.74	0.06	1.12	0.00	12.10	11.00	0.56	0.46	98.54
5	Б-1-22	69.20	4.50	0.06	1.60	0.00	13.30	11.80	0.81	0.39	101.66
6	Б-1-25	72.29	2.80	0.05	1.20	0.00	10.94	10.89	2.03	0.41	100.61
7	Б-1-7	55.60	14.00	0.07	2.30	0.03	2.60	3.33	13.64	10.40	101.97
8	Б-1-1	70.68	1.90	0.05	0.48	0.00	12.63	10.93	1.10	0.71	98.48
9	Б-1-2	70.42	3.89	0.03	1.66	0.03	11.14	8.25	0.73	5.00	101.15
10	Б-1-8	63.00	6.49	0.04	0.91	0.02	4.34	11.80	2.46	12.90	101.96
11	Б-1-12	71.80	6.55	0.11	0.82	0.02	9.96	11.90	0.38	0.41	101.95
12	Б-1-16	68.90	5.80	0.03	0.78	0.00	11.90	13.00	1.27	0.57	102.25
13	Б-1-18	71.00	1.50	0.03	0.56	0.00	11.64	14.60	0.72	0.38	100.43
14	Б1-3	35.94	16.10	0.00	1.15	0.02	4.65	22.40	0.51	17.82	98.59
15	Б-1-4	38.30	24.66	0.00	0.78	0.02	2.27	9.54	0.64	25.21	101.42
16	Б-1-9	15.10	33.09	0.00	1.70	0.00	4.74	11.43	2.36	30.41	98.83
17	Б-1-11	32.70	30.43	0.00	0.32	0.02	2.66	3.00	0.41	31.78	101.32
18	Б-1-17	20.61	26.20	0.10	1.80	0.00	3.60	15.00	2.00	32.60	101.91
19	Б-1-5	6.22	34.80	0.00	0.60	0.04	2.11	21.10	0.29	33.10	98.26
20	Б-1-6	20.71	30.63	0.00	0.47	0.02	3.67	5.12	3.37	36.80	100.79
21	Б-1-23	3.69	31.99	0.00	9.10	0.03	2.60	12.20	1.07	37.35	98.03
22	Б-1-15	5.60	30.90	0.00	4.60	0.03	5.20	5.80	0.74	43.30	96.17
23	Б-1-20	2.90	31.30	0.00	5.90	0.04	2.10	10.41	1.05	43.74	97.44
24	Б-1-14	5.10	31.40	0.00	4.00	0.02	3.00	9.30	0.39	44.00	97.21
25	Б-1-24	3.53	30.40	0.00	8.00	0.04	1.06	8.90	0.45	45.40	97.78
Атомные концентрации											
1	Б-1-10	47.644	5.099	0.025	0.403	0.013	32.380	13.458	0.572	0.406	
2	Б-1-13	46.668	6.312	0.139	0.699	0.000	26.822	16.666	2.024	0.670	
3	Б-1-19	45.954	2.400	0.050	1.196	0.000	26.527	21.908	1.392	0.573	
4	Б-1-21	46.341	2.068	0.074	0.737	0.00	27.394	21.890	1.206	0.290	
5	Б-1-22	41.952	5.002	0.069	0.985	0.000	28.166	21.964	1.632	0.230	
6	Б-1-25	45.889	3.259	0.060	0.773	0.000	24.259	21.225	4.282	0.253	
7	Б-1-7	35.076	16.194	0.084	1.473	0.018	5.730	6.450	28.594	6.381	
8	Б-1-1	45.085	2.222	0.060	0.311	0.000	28.143	21.407	2.332	0.440	
9	Б-1-2	46.652	4.725	0.038	1.116	0.020	25.781	16.781	1.607	3.280	
10	Б-1-8	42.471	8.022	0.051	0.623	0.013	10.220	24.631	5.511	8.458	
11	Б-1-12	45.483	7.608	0.132	0.527	0.012	22.040	23.145	0.800	0.253	
12	Б-1-16	41.346	6.382	0.034	0.475	0.000	24.946	23.952	2.532	0.333	
13	Б-1-18	43.658	1.691	0.035	0.350	0.000	25.003	27.565	1.471	0.227	
14	Б-1-3	21.055	17.294	0.000	0.684	0.012	9.517	40.292	0.993	10.153	
15	Б-1-4	25.846	30.513	0.000	0.535	0.013	5.351	19.767	1.435	16.54	
16	Б-1-9	9.062	36.410	0.000	1.042	0.000	9.937	21.060	4.710	17.780	
17	Б-1-11	23.422	39.964	0.000	0.233	0.012	6.656	6.598	0.976	22.139	
18	Б-1-17	12.288	28.656	0.113	1.091	0.000	7.502	27.473	3.964	18.913	
19	Б-1-5	3.534	36.257	0.000	0.346	0.023	4.188	36.812	0.547	18.292	
20	Б-1-6	13.542	36.723	0.000	0.312	0.013	8.406	10.279	7.322	23.403	
21	Б-1-23	2.335	37.116	0.000	5.845	0.019	5.747	23.703	2.250	22.986	
22	Б-1-15	3.797	38.411	0.000	3.166	0.020	12.315	12.073	1.667	28.551	
23	Б-1-20	1.872	38.104	0.000	3.976	0.026	4.870	20.589	2.317	28.245	
24	Б-1-14	3.403	38.411	0.000	2.709	0.013	6.992	19.050	0.865	28.558	
25	Б-1-24	2.452	38.712	0.000	5.554	0.027	2.572	18.978	1.039	30.666	

Примечание. Образцы из Бутыринского рудопроявления. Анализы выполнены методами РСМА на приборе IХА-5 в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитик Л.К. Воронина). Образцы 1-6 – тетраферроплатина палладистая, медистая малоиридиевая; 7 – ферроникельплатина палладистая и медистая; 8-13 – туламинит палладистый; 14-25 – амальгамы платинисто-палладистой меди.

платиноидов. Типохимизм тетраферроплатины и туламинита пегматитового подтипа руд в первую очередь определяется повышенным и высоким содержанием палладия и меди, при устойчиво низких содержаниях иридия и наличии постоянной и характерной примеси ртути в количестве 0.3-0.6 ат.%, в единичных случаях до 3.0-8.0 ат.%. Амальгамы присутствуют не только в виде кайм и полос на стыках зерен, но и в виде самостоятельных зерен размером от 40х70 до 100х200 микрон в силикатах, хром-титаномагнетитах и сульфидах цветных металлов. Не исключено, что отдельные тонкие (5 микрон и менее) включения в амальгамах сложены медистым потаритом (Pd, Cu)Hg. Морфология выделений минералов платиновых металлов разнообразна, но резко преобладают изометричные, пластинчатые и клиновидные зерна. Реже встречаются кристаллические зерна и сростки неправильной сложной формы и зерна зонального строения. Полученные данные по составу и соотношению основных минералов руд пегматитового подтипа свидетельствуют о возникновении на заключительной стадии их формирования ртутьсодержащих туламинитов и амальгам, содержащих максимальное количество благородных примесей (табл. 5). Как уже отмечалось выше, по результатам гранулометрического анализа платины, извлеченной из руд пегматитового подтипа (статистика по 75 зернам), 87.0% зерен относится к классам менее 100 микрон, то есть к мелким и тонким классам. Лишь 1.5% из них – к средним и крупным классам – более 400 микрон. Таким образом, установлено, что платинометаллическая минерализация пегматитового подтипа руд обладает минимальной по сравнению с хромитовым и дунитовым подтипами руд, россыпеобразующей способностью, добавляя лишь пылевидную платину и амальгамы в материал комплементарных уральских россыпей.

Выявленная латеральная зональность в размещении изученных нами ранее хромитового и дунитового подтипов хромит-платиновых руд в апикальной и приапикальной частях дунитовых ядер [Волченко и др. 2003] хорошо дополняется и согласуется с геолого-структурным положением руд третьего (пегматитового) подтипа вблизи зоны контакта дунитов с клинопироксенитовой каймой-оторочкой. Секущие дуниты жильные тела клинопироксенит-пегматитов с хром-титаномагнетитовым оруденением известны в ряде массивов собственно Платиноносного

пояса: Нижнетагильском, Каменнокозьвинском, Желтая Сопка и др. Но лишь в хром-титаномагнетит-клинопироксенитовых жилах Косьвинского Камня пока установлена собственная платино-палладиевая минерализация. Она присутствует в парагенезисе с малохромистыми высокожелезистыми и высокотитанистыми шпинелями (хром-титаномагнетитами) и умеренно железистыми силикатами (оливинами и клинопироксенами) с железистостью 8.2-8.6 мол.% и 7.5-12.0 мол.% соответственно. Густовкрапленно-петельчатая и сидеронитовая текстуры хром-титаномагнетитовых руд, находящихся в прифронтальной и фронтальной частях клинопироксенитовой жилы (рис. 2), наличие останцов дунитов с явными следами замещения акцессорного хромшпинелида хром-титаномагнетитом и оливина клинопироксеном, характерная вкрапленность сульфидов железа и цветных металлов дают основание связывать образование платиноносных хром-титаномагнетит-клинопироксенитовых жил с процессами метасоматоза на пневматолит-гидротермальной стадии рудогенеза [Ярош, Фоминых, 1976]. Впервые с применением методов РСМА изучен состав хром-титаномагнетита клинопироксенит-пегматитовых жил. Установлено, что он варьирует в относительно широких пределах и обладает аномальными для Платиноносного пояса вещественными характеристиками. Содержание в этих хром-титаномагнетитах оксида хрома изменяется от 22 до 28.3 мас.%, оксида алюминия от 5.5 до 7.0 мас.%, оксида магния от 4.2 до 7.2 мас.%, оксида железа от 56.0 до 65.0 мас.%, оксида титана от 2.0 до 3.0 мас.%, оксида ванадия до 1.0 мас.% (табл. 2). В других местах собственно Платиноносного пояса Урала подобные хромовые шпинели пока не установлены. Однако они довольно обычны и давно (еще в 70-е годы прошлого века) описаны в платиноносных пироксенит-пегматитах Критической зоны Бушвельда [Cameron, Glover, 1973] и платиновых самородках Гудныйос Бэй на Аляске [Snetsiger, 1973]. Формирование широкой серии таких шпинелей переменного состава вдоль контактовых зон “хромит-пегматит” рассматривается как результат реакции флюида, обогащенного титаном и железом, с хромитом, обогащенным хромом, алюминием и магнием. Метасоматическое замещение при этом, как считают упомянутые авторы, “является следствием твердофазной диффузии катионов по химическим градиентам между пегматитами и хромитами “. В целом эти хромит-титано-

Рис. 4. Пегматитовый подтип.

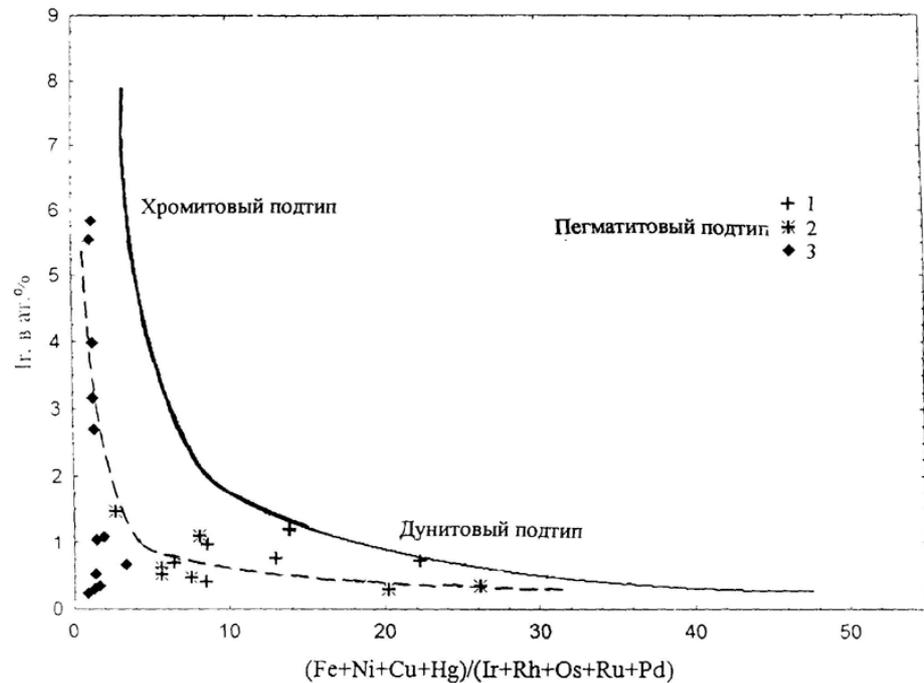
1 – палладистая тетраферроплатина; 2 – палладистый туламинит; 3 – амальгамы платинисто-палладистой меди.

магнетитовые серии характеризуют широкие пределы смесимости таких минералов при относительно низких температурах. В самое последнее время [Сидоров и др., 2004] подобные

платиноносные хромовые шпинели ряда хром-пикотит-феррихромит-хром-титаномагнетит описаны в зональном мафит-ультрамафитовом массиве Гальмознан (Корякия). Рассчитанные авторами параметры термодинамического режима формирования этой минерализации свидетельствуют об условиях сравнительно низких температур процесса хромитообразования (660-820° С), при относительно высоких значениях фугитивности кислорода ((+1,3) – (+3,5) log единиц относительно буфера FMQ). На диаграммах составов рудообразующих шпинелей и платины в месторождениях Уральского типа сосуществующие минералы Бутыринского рудопроявления формируют отдельные закономерно расположенные поля (рис. 3, 4), характеризующие наиболее поздний период рудообразования.

Таким образом, палладиево-платиновые хром-титаномагнетитовые руды в пироксенит-пегматитовых жилах среди ординарных дунитов не могут рассматриваться в качестве аналога, а тем более генотипа, пироксенитовых палладиевых руд Урала, но дают представление о заключительных наиболее низкотемпературных процессах, протекавших в платиновых месторождениях Уральского типа.

К завершающим этапам формирования руд уральского типа температура их образования уменьшается, возрастают фугитивность кислорода и серы, что прослеживается по изменению состава оливина, существенному возрастанию его железистости с 4-6 до 9-10 мол.%,



увеличению степени окисления железа в сосуществующих силикатах и резкому повышению общего количества сульфидных минералов в платино-палладиевых рудах пегматитового подтипа. В целом формирование и преобразование платинометалльных руд Уральского типа (хромитовый подтип – дунитовый подтип – пегматитовый подтип), являющихся визитной карточкой дунитовых массивов Платиноносного пояса Урала, происходило в рамках постмагматических стадий их эволюции. Резко преобладающий тонкий и пылевидный металл (менее 100-50 мкм) определяет практически нероссыпеобразующий тип руд пегматитового подтипа.

Список литературы

Бетехтин А.Г. Платина и другие минералы платиновой группы. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1935. 148 с.
 Бутырин Н.В. Месторождения коренной платины в Кытлымском платиноносном районе. УФАН СССР. Горно-геологический институт, 1945. Свердловск. 103 с. Рукопись.
 Волченко Ю.А. Платиновое оруденение Нижнетагильского массива (Коренные проявления и россыпи). Путеводитель экскурсии. Екатеринбург: УГГА, 1999. С. 26
 Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Гмыра В.Г., Нестерова С.И. Минералого-геохимические черты хромит-платиновых руд месторождения Госшахта (Нижне-Тагильский массив) // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2002. С. 267-272

Волченко Ю.А., Коротеев В.А. Структурная и вещественная эволюция хромит-платинового рудообразования в месторождениях уральского типа // Ежегодник-2002, Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 260-268

Высоцкий Н.К. Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Тр. Геолкома. Новая серия. Вып. 62. 1913. С-Петербург. С. 694.

Высоцкий Н.К. Платина и районы ее добычи // КЕПС. Т. IV. Вып. II. 1923. Петроград. С. 344.

Заварицкий А.Н. Коренные месторождения платины на Урале. Ленинград: Изд. Геолкома, 1928 С. 56.

Иванов А.А., Лизунов Н.В. Платиноиды в ультраосновных породах Урала // Изв. АН СССР. 1944. Сер. Геол. №. 5. С. 78-86

Кашин С.А., Козак С.С., Николаева Л.А., Тихомиров К.П. Минералогические и петрохимические особенности пород платиноносной формации Сред-

него Урала и некоторые закономерности распространения коренной платины. М.: Гостехиздат, 1956. 113 с.

Сидоров Е.Г., Осипенко А.Б., Козлов А.П., Костоянов А.И. Хромитовая минерализация в породах мафит-ультрафитового массива Гальмоэнан, Корякия (Россия) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 3. С. 235-252.

Ярош П.Я., Фоминых В.Г. Платиноиды в хром-титаномагнетит-пироксенитовой жиле Косьвинского дунитового тела Кытлымского массива // Ежегодник 1975. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1976. С. 100-101.

Cameron E. N., Glover E.D. Unusual titanian-chromian spinels from the eastern Bushveld Complex // Amer. Min. 1973. V. 58. №. 3-4. P. 172-188.

Snetsinger K.G. Chromian-aluminian magnetite and two rhodium alloys in a platinum nugget from Goodnews Bay, Alaska // Amer. Min. 1973. V. 58. № 3-4. P. 189-194.