

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Минеральное сырьё

Металлы
платиновой
группы

Справочник



Москва, 1997

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*В.И.Кочнев-Первухов, Е.С.Заскинд,
О.М.Конкина, В.П.Ивановская, Т.Н.Матевич*

МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

МЕТАЛЛЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

Научные редакторы: Г.В.Ручкин и П.Е.Остапенко

**ЗАО «Геонформмарк»
Москва 1998**

Минеральное сырье. – Металлы платиновой группы / В.И.Кочнев-Первухов, Е.С.Заскинд, О.М.Конкина, В.П.Ивановская, Т.Н.Матевич // Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 58 с.

Рассмотрены общие сведения о платиноидах, области их применения, основные минералы платинового сырья, промышленные типы месторождений, природные и технологические типы руд, методы геологического изучения месторождений и подготовки их для промышленного освоения. Приведены сведения о методике геологоразведочных работ, исследованиях вещественного состава руд, передовых технологиях производства из них продукции и требованиях промышленности к ее качеству. Даны рекомендации по оптимизации поисков и разведки месторождений, составлению кондиций для подсчета запасов, снижению вредного влияния геологоразведочных работ, добычи и переработки сырья на окружающую среду и геолого-экономической оценке месторождений платиноидного сырья.

Для геологов, горных инженеров, технологов, химиков, предпринимателей и студентов вузов.

Справочник не является директивным документом. Содержащиеся в нем сведения носят рекомендательный характер.

Главный редактор В.П.Орлов

Редакционная коллегия:

А.Н.Еремеев (зам. главного редактора), А.Е.Березий, Л.З.Быховский, Н.Н.Ведерников, Ю.Ю.Воробьев, В.М.Гонюх, В.Л.Заверткин, В.В.Иванов, Ю.А.Киперман, А.А.Кременецкий, В.С.Кудрин, А.Н.Лабутин, А.Е.Лисицын, Л.В.Оганесян, Е.Д.Осокин, П.Е.Остапенко, Г.В.Остроумов, В.П.Петерсилье, В.Т.Покалов, И.Ф.Романович, Г.В.Ручкин, В.В.Самсонов, Г.В.Седельникова, В.П.Стрептов, А.С.Филько, Ю.М.Щепотьев

Подготовлен к изданию ЦНИГРИ
Ответственный за выпуск А.Е.Лисицын

©МПР РФ, 1998

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Металлы платиновой группы (МПГ) – рутений (Ru), родий (Rh), палладий (Pd), осмий (Os), иридий (Ir), платина (Pt) – элементы VIII группы периодической системы Менделеева, в которой они образуют две триады – Ru-Rh-Pd и OS-Ru-Pt, занимают полностью пятый и шестой ряды и входят в группу благородных металлов.

Таблица 1

Размеры атомов и ионов ЭПГ

Элемент	Атомный радиус, нм	Ионные радиусы, нм				
		+2	+3	+4	+5	+6
Ru	0,1410	0,085	0,074	0,062		
Rh	0,1364		0,075	0,065		
Pd	0,1567	0,080		0,064		
Os	0,1266	0,089	0,081	0,065		
Ir	0,1277	0,089	0,081	0,065		
Pt	0,1221	0,080		0,064	0,087	0,081

Атомный номер рутения 44, атомная масса 101,1; в природных условиях известны 12 стабильных изотопов Ru с массами от 96 до 105. Родий имеет атомный номер 45, атомную массу 102,91 и изотоп с массой 103. Палладий обладает атомным номером 46, атомной массой 106,4 и образует шесть стабильных изотопов с массой от 102 до 109. Атомный номер осмия 76, атомная масса 190,2; в природе известны семь стабильных изотопов Os с массами от 184 до 192. Иридий

Физические и химические свойства МПГ

Наименование физических и химических свойств	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
Плотность при 20°C, г/см ³	12,37	12,41	12,02	22,61	22,4	21,46
Твердость (по Бринеллю), МПа	2157,16	1363,12	480,0	3500	1640	460,91
Температура плавления, °C	2250	1963	1552	3027	2447	1772
Температура кипения, °C	4200	3700	3980	5027	4380	3900
Предел прочности растяжения, МПа	362,8	470,71	181,42	Нет свед.	Нет свед.	140,24
Модуль упругости, ГПа	462,87	313,81	123,56	То же	0,528	169,94
Удельное электрическое сопротивление (0°C), Ом·м	6,83·10 ⁻⁴	4,3·10 ⁻⁴	9,1·10 ⁻⁴	9,7·10 ⁻⁸	4,74·10 ⁻⁸	9,81·10 ⁻⁴
Теплоемкость, Дж/моль·К	24	25	25,9	24,7	25,1	25,8
Коэффициент линейного расширения, К ⁻¹	9,1·10 ⁻⁶	8,44·10 ⁻⁶	11,2·10 ⁻⁶	Нет свед.	6,5·10 ⁻⁶	9,0·10 ⁻⁶
Магнитность	Парамагнетик	Парамагнетик	Парамагнетик	То же	Нет свед.	Парамагнетик
Цвет	Серебристый	Светло-серый	Серовато-белый	Серебристо-голубоватый	Серый	Серебристо-белый

Ковкость, хрупкость	Хрупкий	Хрупкий	Ковкий	Хрупкий	Хрупкий	Ковкий
Химическая активность	Малоактивен *	Инертен	Малоактивен **	Малоактивен ***	Инертен	Малоактивен ****
Степень окисления:						
обычная	3, 4, 6, 8	3	2	4, 6, 8	3, 4, 6	2, 4
редкая	1, 2, 5, 7	1, 2, 4, 6	4	1, 2, 3, 5, 7	1, 2, 5	1, 3, 5, 6

* В щелочах, кислотах и царской водке не растворяется; губчатый и в порошке реагирует с концентрированной HCl; в атмосфере кислорода при 1000°C окисляется до RuO₂; реагирует с F (дает RuF₅).

** Растворим в царской водке, в горячих концентрированных H₂SO₄ и HNO₃; при нагревании реагирует с F, Cl, S, Se, Te, P и As; сорбирует водород (до 900 объемов водорода на 1 объем Pd).

*** Растворяется в дымящей HNO₃; при сплавлении со щелочами образует растворимые соединения с комплексообразующими свойствами; легко окисляется до OsO₄ (ядовит).

**** При комнатной температуре реагирует с царской водкой и Br; растворяется в горячих концентрированных HNO₃ и H₂SO₄; корродируется кипящими щелочами, оксидами, цианидами и сульфидами щелочных металлов; при красном калении реагирует с галогенами, S, Se, Te, As, Si и C; поглощает водород.

Запасы, ресурсы и мировое производство МПГ и платины

Страна	Подтвержденные запасы, т (1996 г.)	Ресурсы, т (1995 г.)	Производство металлов, кг (1994 г.)
ЮАР	55486 ** 26554	13000	151125 94860
Канада	227 109	400	19995 6820
США	284 136	8200	
Япония *	Нет свед.	Нет свед.	
Колумбия	28 26	1800	
Австралия	21 4	60	6541 4340
Финляндия	4 2	Нет свед.	
Зимбабве	801 376	8400	
Всего	56851 27207	31810	177661 106020
Россия	Нет свед.	Нет свед.	136400 31310

* Из импортных руд и концентратов.

** Числитель - сумма МПГ, знаменатель - платина.

имеет атомный номер 77, атомную массу 192,2 и два изотопа с массами 191 и 193. Платина обладает атомным номером 78, атомной массой 195,09 и образует 13 изотопов с массами от 188 до 200, один из которых с массой 190 радиоактивен. Атомные и ионные радиусы элементов платиновой группы (ЭПГ) приведены в табл. 1.

МПГ отличаются большой устойчивостью к химическим воздействиям, высокой плотностью и термической устойчивостью (табл. 2). Для большинства МПГ характерна гранцентрированная кубическая решетка и только для Ru и Os – гексагональная. Все ЭПГ – типичные сидерофилы со слабо проявленными халькофильными свойствами. Наибольшей степенью халькофильности обладает Pd. Для всех ЭПГ отмечаются высокие значения потенциала ионизации, с чем связана их способность легко восстанавливаться до металлов, и инертность к большинству реагентов. Из химических соединений наиболее устойчивы мышьяковые, сурьмянистые, теллуристые и сернистые. Очень высока склонность к образованию сплавов и комплексообразованию. Наиболее устойчивы хлоридные комплексы двух- и четырехвалентных ионов ЭПГ. Сродство к кислороду у большинства ЭПГ ниже, чем у Fe, в связи с чем при магматических процессах они концентрируются в сульфидном расплаве. Однако для Os, отчасти Ru и Ir теплота образования оксидов близка к FeO, в связи с чем при металлургическом переделе образуются летучие оксиды этих металлов, поэтому значительная их часть, особенно Os, теряется с технологическим дымом.

Кларки ЭПГ в земной коре: Ru – 1,10-8; Rh – 5,10-7; Pd – 1,10-6; Os – 2,10-8; Ir – 1,10-7; Pt – 1,10-6%. Наиболее обоснована величина кларка Pd, надежность кларков остальных элементов низка. В хондритах концентрации ЭПГ оцениваются следующим образом (%): Ru – $7 \cdot 10^{-5}$; Rh – $2 \cdot 10^{-5}$; Pd – $5,4 \cdot 10^{-5}$; Os – $5 \cdot 10^{-5}$; Ir – $5 \cdot 10^{-5}$; Pt – $1,02 \cdot 10^{-4}$. В основных и ультраосновных породах, с которыми ассоциируют как собственные месторождения МПГ, так МПГ-содержащие, для которых платиноиды являются второстепенными компонентами, средние концентрации этих элементов достоверно не определены.

По величинам масс и плотности атомов, их размерам и термическим характеристикам выделяются две группы, образующие устойчивые геохимические ассоциации: Pt-Os-Ir-Ru-Cr-Ti и Pd-Pt-Rh-Ru-Cu-Ni-Co-Au. Этими ассоциациями определяются основные типы проявлений МПГ в магматических породах – хромитовый и сульфидный. Высокая плотность МПГ и устойчивость при экзогенных

процессах способствуют накоплению их в рыхлых отложениях с образованием россыпей различных типов и качества. В минеральном и геохимическом отношении россыпи, как правило, соответствуют со-

ставу коренного источника, обогащаясь при этом самородными формами и сплавами.

Добыча МПГ ведется более чем 20 странами; количество эксплуатируемых месторождений, которые могут быть отнесены к числу собственных платиноидных, невелико; попутная добыча МПГ ведется на сотнях месторождений цветных металлов и хромита. Основными странами-производителями горно-рудной продукции являются ЮАР, Россия, Канада, США, Колумбия, Австралия, Финляндия и Зимбабве (табл. 3). По запасам и добыче платиноидов Россия занимает второе место в мире, после ЮАР. В 1996 г. прогнозные ресурсы Российской Федерации составляли 41% от разведанных.

2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Диапазон применения МПГ в промышленности и других областях чрезвычайно широк. Используются как чистые металлы, так и сплавы, которые разделяются на две группы: сплавы МПГ друг с другом и сплавы МПГ с другими металлами (табл. 4, 5). Главными видами товарной продукции МПГ являются чистые металлы и их сплавы (слитки, проволока, листы, фольга), сплавы с другими металлами и неметаллами (с Au, Ag, W, Ni, P), оксиды Ru, Rh и Pd, изотопные препараты, хлориды Ru и Os и др. Структура потребления МПГ довольно сложна и недостаточно освещена. Имеющиеся сведения по потреблению платиновых металлов в 1994 г. отражены в табл. 6. Как видно из таблицы, наибольшее количество МПГ используется в автомобильной, электротехнической, химической и нефтеперерабатывающей отраслях.

3. ОСНОВНЫЕ МИНЕРАЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

Минералогия ЭПГ весьма богата. За последние десятилетия, благодаря применению для диагностики микрозондового анализатора, количество новых минералов ЭПГ резко возросло и продолжает увеличиваться. К настоящему времени известно более 100 самостоятельных минералов, не считая разновидностей, выделяемых по характеру и количеству примесей. Систематика минеральных видов сложна: выделяются самородные формы, сплавы, интерметаллические соединения, арсениды, антимониды, висмутиды, сульфоантимо-

Таблица 4

Области применения МПГ

Отрасли	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
1	2	3	4	5	6	7
Автомобилестроение:						
фильтры-нейтрализаторы для двигателей внутреннего сгорания - бензиновые, дизели	+	+	+			+
свечи зажигания				+		+
конденсаторы				+		+
контакты, реле, переключатели	+			+		+
Ювелирное дело:						
изделия	+	+	+			+
инструменты					+	+
Электронная промышленность:						
защитные покрытия						+
микросхемы	+					+
конденсаторы				+		+
тигли для монокристаллов (для лазеров)				+	+	+
Электротехническая промышленность:						
защитные покрытия						+
реле, контакты, переключатели	+			+	+	+
лампы				+		
термопары		+	+		+	+
Стекольная:						
тигли и фильеры для производства стекловолокна	+					+

1	2	3	4	5	6	7
Химическая:						
катализаторы	+	+	+	+	+	+
лабораторная посуда		+			+	+
электроды	+				+	+
реагенты						+
Нефтепереработка:						
катализаторы	+		+			+
Атомная промышленность:						
антикоррозийные покрытия						+
Измерительная техника:						
эталонные длины и массы					+	+
Медицина:						
катализаторы						+
лекарства, в том числе онкопрепараты	+			+		+
зубные протезы			+			
хирургические инструменты				+	+	+
приборы				+		
Искусство:						
краски для фарфора и стекла	+	+	+			+
Казначейские запасы:		+	+			+
в том числе монеты						+
медали, ордена			+			+

ниды и сульфоселениды, простые сульфиды, селениды и теллуриды. Это многообразие минеральных форм может быть сведено к двум крупным классам: самородные платиновые металлы, сплавы и соединения с металлами I, II, IV и VIII групп, соединения ЭПГ с металлами V, VI и VII групп периодической системы Менделеева.

Сплавы МПГ и на основе МПГ, применяемые в разных отраслях

Отрасли	Сплавы	
	МПГ	На основе МПГ
Автомобильная Ювелирное дело	Pt-Pd, Pt-Pd-Rh Pd-Ru-Rh	Pt-Au; Pt-Ag; Pd-Au; Pd-Ru-Rh
Электроника Электротехника	Pt-Ir Ir-Pt, Ir-Rh, Os-Ir, Ir-Ru	Pd-Ag, Os-W Ir-Ni
Стекольная, химическая, нефтехимическая	Pt-Pd-Rh; Pt-Rh; Ir-Rh; Ir-Ru, Pt-Ir	
Медицина	Ir-Pt, Os-Ir	Pd-Ag, Ir-P
Измерительная техника	Pt-Ir	Pd-Ag, Pd-W

Таблица 6

Структура мирового потребления некоторых МПГ в 1994 г., %

Отрасль	Pd	Pt	Ru	Rh
Автомобилестроение	29,45	57,82	Нет свед.	11,81
Стекольная, химическая, нефтеперерабатывающая	Нет свед.	13,2	То же	0,74
Электротехническая, электронная	69,13	5,7	- « -	0,25
Ювелирное дело	6,36	53,3	- « -	Нет свед.
Прочие	69,13	5,9	2,9	0,37

Распространенность минералов ЭПГ как классов, так и видов и разновидностей весьма различна. Наиболее широко распространены минералы перечислены в табл. 7. Поскольку в подавляющем большинстве случаев минералы ЭПГ образуют мелкие (микроскопические и субмикроскопические) зерна и сростки таких зерен и для их

Свойства основных

Минерал	Примеси	Содержание основного элемента, %	Сингония	Цвет в отраженном свете
1	2	3	4	5
Осмий самородный Os	Ir, Rh, Pt, Ru, Fe	Os 82-98,9	Гексагональная	Белый с голубоватым оттенком
Иридоосмин (Os, Ir)	Rh, Pt, Ru, Fe	Os 47,9-80,3; Ir 15,3-46,5	То же	То же
Осмирид (Ir, Os)	Ru, Pt	Ir 54,9-78,9; Os 16,7-39,2	Кубическая	Белый
Рутениридоосмин*	Pt, Rh, Pd, Fe	Os 35,7-68,3; Ir 21,7-45,0; Ru 5,9-21,2	Гексагональная	Белый с голубоватым оттенком
Изоферроплатина*	Rh, Ir, Pd, Os, Ru	Pt 86-93,5	Кубическая	Ярко-белый
Pt ₃ Fe				
Железистая платина*	Ir, Pd, Os	Pt 74,8	То же	Белый, розоватый
(Pt, Fe)				
Станнопаладинит	Pt, Cu, Pb, Sb	Pd 57,6-59,4	Гексагональная	Розовый
Pd ₃ Sn ₂				

минералов ЭПГ

Анизотропия, цветные эффекты	Отражательная способность R, λ=570 нм	Микротвердость, кг/мм ²	Хрупкость	Растворимость	Типы месторождений и руд		
					I	II	III
6	7	8	9	10	11	12	13
Сильная, от серого до оранжево-красного	59-60	400	Хрупкий	Нет свед.	-	-	+
Сильная, от синего до оранжевого	64-66	591	То же	Нерастворим	-	-	++
-	76	542-676	- « -	После сплавления с KNO ₃ растворим в воде	-	-	+
Сильная, от голубого до оранжевого	68	670	Нет свед.	Нет свед.	-	-	++
-	69	440	Ковкий	Нерастворим	+	+	++
-	68	325-460	То же	То же	-	++	++
Сильная, от серого-голубого до сиренево-красного	46-48	387-452	Нет свед.	- « -	+	+	-

1	2	3	4	5
Нигглиит PtSn	Pd, Sb, Bi, Te	Pt 59,9-61,1	Гексаго- нальная	Белый с кремовым оттенком
Масленицко- вит (PtPd) ₃ Sn	Bi, Ag, Au, Pb, Ir, Cu	Pt 25,9-68,4 Pd 10,6-44,9	Кубическая	Белый
Плюмбопал- ладинит Pd ₃ Pb ₂	Sn, Ag, Bi, Cu, Au	Pd 37,2-40,0	Гексаго- нальная	Белый, розо- вый
Звягинцевит (Pd,Pt) ₃ (Pb,Sn)	Ag, Te, Au, Rh, Bi, Cu	Pd 48-64,9; Pt до 20,7	Кубическая	Белый с кремовым оттенком
Полярит Pd(Pb,Bi)	Pt, Te, Ag, Au	Pd 27-37,6	Ромбическая	Белый, жел- товатый
Стибиопалла- динит Pd ₃ Sb ₃	Pt, Cu, As, S	Pd 59-73	Гексаго- нальная	Белый, розо- ватый
Геверсит PtSb ₂	Bi, As, Te, S	Pt 45-48	Кубическая	Светло- серый
Мончеит Pt(Te,Bi) ₂	As, Sb	Pt 22-43	Тригональ- ная	Белый
Меренскит (Pd,Pt,Ni) (Te, Bi) ₂	Sb	Pd 12-33; Pt до 22	То же	Белый с кремовым оттенком
Майченерит (Pd,Pt)(Te,Bi) ₂	Ni, Sb	Pd 12-28; Pt до 10,5	Кубическая	Белый, жел- товатый
Котульскит Pd(Te,Bi)	Pt, Pb, Sb	Pd 31-46	Гексаго- нальная	Кремовый

6	7	8	9	10	11	12	13
Отчетливая, от серо- синего до оранжевого	41-62	310-499	Хрупкий	Растворя- ется в царской водке	+	+	-
-	61	348	Нет свед.	Нет свед.	-	+	-
Отчетливая, оранжево- бурый	54-57	297-360	То же	То же	-	++	-
-	65	235-296	- « -	- « -	+	++	-
Слабая, бледно- коричневые тона	57-60	147-226	- « -	- « -	+	++	-
Отчетливая, от синевато- го до крас- новатого	54	607	- « -	Растворя- ется в горячей царской водке	-	+	-
-	59	300	- « -	Нет свед.	-	+	-
Отчетливая, коричневый	59-64	117-185	- « -	То же	++	+	-
То же	53-58	100-130	Хрупкий	- « -	++	+	-
-	55-59	228-300	То же	- « -	++	+	-
Сильная, от серо-голубого до коричне- вого	62-65	236-340	- « -	- « -	++	+	-

1	2	3	4	5
Сперрилит PtAs ₂	Rh, Ir, Pb, Au, Ag	Pt 52-59	Кубическая	Белый
Маякит (Pd, Ni) ₂ As	Pt, Ag	Pd 12-46	Гексаго- нальная	Светло- серый
Холингвортит (Rh, Pt, Pd) AsS	Ru, Ir, Ni, Fe, Co	Rh 12-45; Pd 6,5; Pt 0,6-24	Кубическая	Серовато- белый
Ирарсит (Ir, Ru, Rh, Pt) AsS	Pd, Fe	Ir 23-64; Rh 4-13; Ru 9; Pt до 17	То же	То же
Осарсит (Os, Ru)AsS	Ir, Pt, Pd, Rh	Os 36-60; Ru до 18	Моноклин- ная	Серый
Лаурит RuS ₂	Os, Ir, Rh, Pt	Ru 28-59	Кубическая	Серовато- белый
Куперит PtS	Pd, Ir, Ni, Fe, Rh	Pt 71-86,4	Тетраго- нальная	То же
Высоцкит (Pd, Ni)S	Pt	Pt 57-71	То же	- « -
Брэггит (Pt, Pd)S	Ni, Rh, Ir	Pt 26-68,8; Pd 8,5-43,3	- « -	- « -

Примечания. I – Собственные платинометалльные месторождения в сульфидно-мафитовых массивах; II – медно-никелевые сульфидные руды; III – россыпи; встречающийся в данном типе минерал.

*Минерал магнитен.

диагностики основное значение имеют состав и некоторые свойства, обнаруживаемые под микроскопом, макроскопические характеристики (цвет в образце, блеск, спайность, твердость по Моосу и пр.) не приводятся.

6	7	8	9	10	11	12	13
-	53-54	635-1120	Хрупкий	Нерас- творим	+	++	+
Слабая	45-53	240-420	То же	То же	+	++	-
-	47-52	650-850	Нет свед.	Нет свед.	+	-	-
-	49-52	976	То же	То же	++	-	-
Слабая	Нет свед.	Нет свед.	- « -	- « -	-	-	-
-	42	1610- 1670	- « -	Нерас- творим	++	-	-
Отчетливая, серовато- синий	37	680-750	- « -	То же	++	+	-
Слабая	44-45	407-535	- « -	Нет свед.	++	+	-
Отчетливая	44-45	920-1100	- « -	Нерас- творим	++	+	-

доносных и сульфидно-хромитовых горизонтах расслоенных мафит-ультра-
(++) – основной минерал, (+) – второстепенный минерал, (-) – редкий или не

Кроме собственных минеральных форм, МПГ в рудах присут-
ствуют и в примесной форме. Собственная форма МПГ всегда (и
резко) преобладает над примесной: доля МПГ, образующих изо-
морфные примеси в сульфидах, обычно составляет 7-10% от их об-

щего содержания в руде, редко достигая 15%. Наиболее богаты платиноидами сульфиды медно-никелевых руд – пентландит, халькопирит и пирротин.

При разработке технологии извлечения МПГ из руд используются лишь немногие свойства платинометаллических минералов – их высокая плотность и магнитность некоторых самородных форм, сплавов и интерметаллидов. Эти свойства играют решающую роль при извлечении МПГ из россыпей, имеют большое значение при разработке технологических схем для собственных платинометаллических месторождений в мафит-ультрамафитовых расслоенных комплексах. Для МПГ-содержащих месторождений они не существенны, так как при переработке руд таких месторождений МПГ уходят в состав коллективных сульфидных концентратов, из которых извлекаются пирро- и гидрометаллургическими методами.

4. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Промышленно значимые концентрации МПГ известны в месторождениях различного генезиса и связаны с рудами разного состава: сульфидными, сульфидно-магнетитовыми, сульфидно-хромитовыми, хромитовыми и др.. Месторождения МПГ разделяются на две большие группы: собственные платинометаллические (удельная ценность МПГ превышает 50%) и МПГ-содержащие, в которых платиновые металлы входят в состав руд (песков) цветных, черных и благородных металлов в качестве попутного компонента. Как собственные платинометаллические, так и МПГ-содержащие месторождения разделяются на коренные и россыпные. В пределах каждой группы выделяются различные промышленные типы.

Коренные месторождения МПГ – основной источник платиновых металлов. С ними связаны 99,7% мировых запасов и ресурсов МПГ и 98,5% мировой добычи этих металлов.

Собственные платинометаллические месторождения подразделяются на три промышленных типа – ПТ (табл. 8), которые связаны исключительно с расслоенными мафит-ультрамафитовыми комплексами:

1) рифа Меренского – протяженные горизонты с выдержанной однородной по составу убоговкрапленной сульфидной минерализацией;

2) УГ-2 – выдержанные протяженные горизонты хромитов с устойчивой однородной по составу убоговкрапленной сульфидной минерализацией;

Таблица 8

Промышленные типы собственных месторождений МПГ

Промышленные типы (ПТ) месторождений	Риф Меренского (ПТ1)	УГ-2 (ПТ2)	Лак-дез-Иль (ПТ3)
1	2	3	4
Основные промышленные (а) и минеральные (б) типы руд	Убоговкрапленные (а); пирротин-пентландит-халькопиритовый алюмосиликатный (б)	Убоговкрапленные (а); пирротин-пентландит-халькопиритовый хромит-алюмосиликатный (б)	Убоговкрапленные, гнездовые, жильные (а); пирротин-пентландит-халькопиритовый алюмосиликатный (б)
Средние содержания в рудах ΣМПГ, г/т	6-22	5-10	2,5-3,5 (6,2)
Попутные компоненты	Ni, Cu, Au, Ag, Se, Te, Co	Cr, Ni, Cu, Au, Ag, [Se, Te, Co]	Cu, Ni, Au
Ведущие группы минералов платинометаллического оруденения	Сульфиды Pt, Pd, Ru; сульфиды арсениды Rh, Ir; соединения Pt, Pd с Te, Bi, Pb; твердые растворы Pt-Fe	Сульфиды Pt, Pd, Ru; твердые растворы Pt-Fe	Сульфиды Pt, Pd; соединения Pd с Te
Формы и размеры рудных тел	Пласты. По простиранию километры, десятки километров; по падению километры. Мощность 0,5-0,6 м	Пласты. По простиранию километры, десятки километров; по падению километры. Мощность 0,15-2,6 м	Линзы, жилы, гнезда; размеры рудных тел сильно варьируют; площадь распространения рудных тел: 50 м · 1300 м

Окончание табл. 8

1	2	3	4	
Ориентировочные запасы и ресурсы МПГ в отдельных месторождениях, т	рядовых	от 10	от 10	от 10
	крупных	до 50 000	до 35 000	до 130
Доля в мировых запасах и ресурсах зарубежных стран, %	46	45	< 2	
<u>Pt+Pd</u> Ru	10-20	4,5-6,4	> 800	
Примеры месторождений (выделены разработываемые)	Риф Меренского, Плэт Риф – Бушвельд (ЮАР), Великая Дайка (Зимбабве), Джей Эм Риф – Стиллиуотер (США), Панское, Федорово-тундровское (Россия)	УГ-2 – Бушвельд (ЮАР), А – Хромитит – Стиллиуотер (США), Бураковское, Имандровское (Россия)	Лак-дез-Иль (Канада), Лейк-Оуэн (США), Генеральское, Луккулайсварское (Россия)	

3) Лак-дез-Иль – разрозненные линзовидные тела убоговкрапленной сульфидной минерализации, не увязывающиеся в единый горизонт.

Расслоенные мафит-ультрамафитовые комплексы – разномаштабные интрузивы основных и/или ультраосновных пород, харак-

теризующиеся следующими особенностями: петрографические различия сложены различными ассоциациями кумулусных оливина, пироксенов, плагиоклаза и хромита; кумулусные ассоциации образуют ритмы и циклы разной контрастности; слой, ритмы и циклы протяженны и опознаются во всем массиве или значительной его части; взаимоотношения между слоями и более крупными подразделениями разреза могут быть описаны в терминах седиментогенных образований. Комплексы развиты в зонах протоактивизации щитов и древних платформ. Наиболее продуктивны массивы, связанные с внутрикратонным рифтогенезом докембрийского возраста.

Хотя расслоенные комплексы пестры по составу и строению разреза, их объединяют две особенности: отчетливая дифференцированность гомодромно построенного разреза; наличие расслоенных серий, представляющих собой ритмичное чередование выдержанных по мощности и составу слоев, сложенных разными наборами кумулятов. Мощность расслоенных серий и совершенство расслоенности зависят от размеров массивов: в наиболее крупных плутонах (например, Бушвельд) они занимают до 15% всего разреза, а отдельные члены ритмов прослеживаются на многие километры; в массивах меньших размеров доля таких серий в разрезе меньше, а отдельные слои прерываются как по простиранию, так и по падению.

Принципиальный разрез расслоенного комплекса выглядит следующим образом (снизу вверх):

ультраосновная серия (до 30% общей мощности) – нижняя часть представлена ритмичным чередованием дунитов, перидотитов и пироксенитов с хромитами; верхняя – пироксенитами;

расслоенная (критическая, полосчатая) серия (до 15% общей мощности) сложена чередованием пироксенитов, норитов, габбро-норитов, габбро и анортозитов;

главная серия (40-80% общей мощности) – монотонные габбро и анортозиты;

верхняя серия (до 20% общей мощности) – от феррогаббро до диорита.

Платинометалльные руды связаны с горизонтами в верхах ультраосновной серии и в различных частях критической. Руды представлены двумя основными типами: сульфидным медь-никель-платинопалладиевым (месторождения ПТ 1 и 3) и сульфидно-хромитовым платинопалладиевым (месторождения ПТ 2), которые могут быть встречены в одном массиве, но на разных уровнях его

разреза. За пределы массивов рудные залежи не выходят. Рудные тела – согласные с общей структурой массива линзы и слои ("риффы") разной протяженности. Наибольшую ценность представляют рифы (ПТ 1 и 2), в которых сосредоточены основные запасы МПГ собственных платинометалльных месторождений. Большие масштабы, выдержанность по простиранию, падению и мощности, а также неизменность положения каждого рифа в разрезе конкретного массива делают их удобными объектами для прослеживания, разведки и разработки, а постоянство содержаний и состава МПГ определяют технологичность руд для переработки, высокую степень извлечения МПГ (до 93%) и высокий уровень рентабельности. Все вместе взятое делает рифы наиболее приоритетным объектом поисков коренных месторождений МПГ.

Для прогноза возможного наличия платинометалльного горизонта в массиве достаточно установления факта существования в нем расслоенной серии. Для прогноза вероятного состава и качества оруденения необходимо выделение в разрезе сульфидоносных горизонтов и изучение состава сульфидных парагенезисов. Характерными особенностями продуктивных горизонтов являются низкое (в среднем не более 1,5% объемн.) содержание сульфидов и обогащенность сульфидной минерализации цветными металлами относительно железа.

Потенциальные рудные районы достигают первых тысяч квадратных километров и выражены зонами активизации фундамента и чехла древних платформ, в пределах которых проявлены стратифицированные тела мафит-ультрамафитового состава.

Рудные поля выражены сульфидо- и хромитоносными массивами или их крупными блоками, приуроченными к различным частям разреза, но прежде всего к их критическим (полосчатым) сериям. Площади рудных полей зависят от размера массивов и варьируют от десятков до сотен квадратных километров.

Месторождения представляют собой рудоносные интервалы расслоенных и ультраосновных серий.

Собственные платинометалльные месторождения в расслоенных комплексах составляют основную базу платиновой промышленности за рубежом (94% запасов и ресурсов, 95 добычи). В России месторождения этого типа обнаружены недавно (Федоровотундровское, Панское и Луккулайсварское в Карело-Кольском регионе) и в настоящее время не разрабатываются. К этой же группе проявлений МПГ относятся их концентрации в телах лейкократового габбро Но-

рильского района, в моносльфидных горизонтах верхних частей разреза Довыренского массива (Прибайкалье) и ряде других объектов, которые пока не оценены.

МПГ-содержащие объекты представлены месторождениями цветных и черных металлов, генетически связанных с мафит-ультрамафитовым магматизмом. К их числу относятся сульфидные медно-никелевые месторождения, медно- и молибден-медно-порфировые, медно-железо-ванадиевые, медные в карбонатных щелочно-ультраосновных массивах центрального типа, хромитовые в гипербазах, титаномагнетитовые в габброидах и габбро-диабазы.

За рубежом МПГ-содержащие месторождения играют второстепенную роль как в запасах и ресурсах МПГ (около 1%), так и в их добыче (5,5%). В России практически все ресурсы МПГ сосредоточены в сульфидных медно-никелевых месторождениях норильского подтипа. Значение остальных типов МПГ-содержащих месторождений несравненно ниже. Кроме перечисленных типов месторождений, характеристика которых приведена в соответствующих выпусках Справочника, природные концентрации МПГ связаны с месторождениями комплексных золото-, золото-полиметалльных, медно-никелево-молибденовых и уран-ванадиевых руд в черных сланцах, со скарновыми железорудными месторождениями, апоультрамафитовыми латеритами и месторождениями силикатного никеля в корах выветривания.

Концентрации МПГ устанавливаются также в хромитоносных дунитах ультраосновных массивов центрального типа, в массивах габбро-клинопироксенит-дунитовой формации (тип Платиноносного Пояса Урала) и в дунитах плутонической составляющей офиолитов. Эти концентрации в настоящее время не имеют промышленного значения и представляют интерес лишь как коренные источники платинометалльных и МПГ-содержащих россыпей.

В таблице 9 приведены содержания МПГ, характерные для руд МПГ-содержащих месторождений основных из перечисленных типов.

Россыпные месторождения МПГ – второстепенный, но весьма экономичный источник. Их эксплуатация требует сравнительно небольших затрат при быстрой окупаемости вложений. С россыпями связано 0,3% мировых запасов и ресурсов МПГ и 1,5% добываемого металла. Для России доля запасов и ресурсов россыпных МПГ в общем балансе металлов составляет 0,6%, а добыча из россыпей – 9,2 производства страны (по данным на 1996 г.).

Таблица 9

Содержания МПГ в рудах основных типов МПГ-содержащих месторождений

Типы месторождений	Сумма МПГ, г/т	Примечание
Медно-никелевые:		
норильский тип	Десятки	Преобладает палладий
печенгский тип	до 0,8	То же
Медно-порфировые	до 0,4	- « -
Медно-железо-ванадиевые	0,13-0,15	Палладий
Медно-титано-магнетитовые	до 1	Преобладает палладий
Медно-сульфидные в карбонатитах	до 0,7	То же
Комплексные цветных металлов в черных сланцах	до 0,6	- « -
Золоторудные в черных сланцах	более 0,3	Элементный состав МПГ достоверно не установлен

По времени образования россыпи разделяются на древние и современные. По характеру залегания они могут быть погребенными (перекрыты более молодыми отложениями различного происхождения, формирование которых не связано с процессами россыпеобразования) и выходящими на поверхность. Россыпи подразделяются на типы по условным образованиям (аллювиальные, элювиальные, делювиальные, эоловые и пр.) и видам полезных ископаемых – благородных металлов, олова, вольфрама, титана и циркония и пр. Высокая плотность минералов МПГ обуславливает их накопление, как и золота, в нижних частях продуктивных слоев и разрушенной части плотика.

Россыпные месторождения МПГ разделяются на две крупные группы – собственные платинометалльные россыпи и комплексные МПГ-содержащие. Главнейшим классификационным признаком россыпных месторождений МПГ является вещественный состав платинометалльного шлиха. Он характеризуется набором минеральных

видов платиноидов, составом минералов-включений, содержанием главных и второстепенных элементов в минералах МПГ и морфоструктурными особенностями минералов и минеральных агрегатов. Минералого-геохимический принцип классификации для россыпей МПГ носит универсальный характер, так как указывает не только на состав россыпи, но и отражает тип россыпеобразующего коренного источника. Выделяются четыре основных минералого-геохимических типа концентраций МПГ в россыпях – иридисто-платиновый, рутениридосминовый, иридосминовый и сульфидно-платиновый. В комплексных россыпях распространены все четыре типа, в собственных платинометалльных – только три первых.

Собственные платинометалльные россыпи (табл. 10) – во всех случаях россыпи близкого сноса. Содержания МПГ колеблются от десятков мг/м³ до первых г/м³. Наиболее важны россыпи иридисто-платинового типа, гораздо меньшее значение и масштабы имеют рутениридосминовые и иридосминовые россыпи.

Иридисто-платиновый тип дает около 95-98% МПГ, добываемых из россыпей России и за рубежом. К этому типу принадлежат наиболее богатые и крупные россыпи. Протяженность россыпей варьирует от сотен метров до нескольких десятков километров, ширина – от первых десятков до сотен метров при мощности продуктивного пласта от десятков сантиметров до нескольких метров. Коренными источниками россыпей этого типа являются дунитовые массивы зональных комплексов габбро-клинопироксенит-дунитовой и клинопироксенит-дунитовой (щелочно-ультраосновной) формаций. Россыпеобразующей рудной формацией дунитовых массивов служит хромит-платиновая формация, чем и определяется прямая зависимость при прочих равных условиях между продуктивностью россыпи и хромитонасностью дунитового массива. В процессе россыпеобразования происходят физико-механическое изменение зерен и самородков (дробление и окатывание) и образование на их поверхности пленок гидроокислов железа и марганца. Собственно платиновая специализация этого типа россыпей определяется преимущественным (более 33%) развитием изоферроплатины с устойчивым составом (массовое содержание примесей не превышает десятых долей процента, и лишь концентрации иридия не опускаются ниже 1%). Валовой состав "шлиховой" платины конкретной россыпи однороден, размеры варьируют от самородков до тонкой фракции. В пределах площади коренного источника сортировка зерен платины несовершенна, но по мере удаления от него и снижения продуктивности россыпи размеры зерен выравниваются с увеличением доли мелкой и

Типы собственных платинометалльных россыпей

Характеристики	Типы		
	Иридино-платиновый	Рутениридосминовый	Иридосминовый
Главные минералы	Изоферроплатина	Гексагональные твердые растворы осмия, иридия, рутения - рутениридосмин, осмирид	Самородный осмий, иридосмин
Второстепенные минералы	Иридосмин, платосмирид	Кубические твердые растворы на основе иридия, изоферроплатина, тетрагональные интерметаллиды платины с железом, никелем, медью	Изоферроплатина
Форма выделений	Ксеноморфные комковатые агрегаты (до самородков) изоферроплатины с включениями второстепенных минералов	Таблитчатые и бочковидные кристаллы	Гексагонально-таблитчатые кристаллы
Минералы включений	Хромит, клинопироксен, роговая обманка, флогопит, биотит	Хромшпинелиды, энстатит, оливин, хромдиопсид, хромистый тремолит, серпентин	Хромшпинелиды, оливин

Коренной источник	Дунитовые массивы габбро-клинопироксенит-дунитовой и клинопироксенит-дунитовой (щелочно-ультраосновной) формаций	Массивы гипербазитовой формации (плутоническая составляющая офиолитов)	Массивы карбонатит-клинопироксенит-дунитовой формации
Практическое значение	Промышленные россыпи до крупных и уникальных	Промышленные мелкие россыпи; обычно как попутный металл в россыпях золота	Неясно; известны мелкие россыпи
Примеры россыпей (почти все разрабатываются)	Туламин, Канада (600)*; Гуд-ньос-Бей, США (19 940); Платиноносного пояса Урала, Россия (500 000); Вывенское, Россия (12 000); Чако и Нариньо, Колумбия (106 100); Юбдо, Эфиопия (3170); Кондер, Россия (10 000)	Россыпи о.Хоккайдо, Япония (310); о.Тасмания, Австралия (410); о.Южный, Новая Зеландия (5)	Гулинское, Россия (не разрабатывается)

*Данные о добыче МППГ (в кг).

тонкой фракций. От крупных россыпей к мелким наблюдается снижение стабильности состава изоферроплатины за счет вариации содержаний микропримесей, расширяется спектр и увеличиваются содержания второстепенных минералов, уменьшается количество включений хромшпинелидов, стабилизируется размерность "шлиховой" платины при доминирующей роли мелких фракций. Эти особенности могут быть использованы при прогнозной оценке территории.

Рутениридосминовый тип россыпи дает около 2% МПГ, добываемых из россыпей. В то же время этот тип является единственным источником добычи монокристаллов твердых растворов осмия, рутения и иридия, что существенно повышает его практическую значимость. Промышленные месторождения редки и незначительны по запасам (десятки, редко сотни килограммов), хотя площади развития этого типа россыпной минерализации самые крупные среди россыпных ареалов. Гораздо чаще рутениридосминовая минерализация сопровождается россыпи золота; примесь МПГ варьирует от единиц до первых десятков процентов от количества золота. Главные минералы – гексагональные твердые растворы осмия, иридия и рутения. Второстепенные – изоферроплатина и тетрагональные интерметаллиды платины. С увеличением доли изоферроплатины продуктивность россыпей этого типа уменьшается, наиболее значимы по концентрациям россыпи с содержанием изоферроплатины порядка нескольких процентов. Россыпи приурочены к положительным геотектоническим структурам, встречаются в долинах с малой мощностью аллювия. Их протяженность составляет первые сотни метров, что связано с хрупкостью рутениридосминовых минералов. Промышленные скопления МПГ располагаются в верхних частях водотоков вблизи выходов коренного источника, в качестве которого выступают полиформные тела хромитов дунит-гарцбургитовых комплексов офиолитов. Состав россыпей определяется рудоносностью конкретного гипербазитового массива. Некоторое значение имеют и промежуточные коллекторы, о чем свидетельствуют кластогенные образования вторичных минералов и хорошая окатанность зерен изоферроплатины в сочетании с осколками рутениридосминов.

Иридосминовый тип россыпей выделен в последние годы в связи с Гулинским плутоном Маймеча-Котуйской провинции (п-ов Таймыр). Коренным источником являются тела карбонатит-клинопироксенит-дунитового состава. Главные минералы – самородный осмий и иридосмий; второстепенные – изоферроплатина и золото. Мощность песков и торфов 0,4-1,2 и 2-7,4 м соответственно. Содержание МПГ колеблется от 383 до 685 мг/м³.

Кроме перечисленных типов собственных платинометалльных россыпей, связанных преимущественно с разрушением хромитоносных дунитов, встречаются россыпные месторождения, образующиеся при разрушении выходящих на поверхность залежей руд цветных металлов, аномально богатых МПГ. Такие россыпи установлены пока только на выходах сульфидных залежей месторождения Норильск 1. Они отличаются высокими содержаниями МПГ и преобладанием палладиевых соединений в их составе, что отражает особенности коренного источника.

К МПГ-содержащим россыпям относятся только россыпи золота. Содержания платиноидов в них колеблются от первых до десятков мг/м³ и, как правило, не превышают 10% от количества основного металла. Описание россыпей этого типа приведено в выпуске "Золото".

5. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУД

На собственных платинометалльных месторождениях, связанных с расслоенными мафит-ультрамафитовыми комплексами, рудами МПГ являются алюмосиликатные породы с рассеянной платинометалльной минерализацией, наличие которой устанавливается только инструментальными и химическими методами. Минерализация связана с вкрапленностью сульфидов цветных металлов в алюмосиликатных и алюмосиликатно-хромовых породах. Руды относятся к убоговкрапленным. Платинометалльные концентрации представлены собственными минеральными формами, количество которых в конкретных месторождениях достигает нескольких десятков, в меньшей степени изоморфной примесью платиноидов в сульфидах железа, никеля и меди. Собственно минеральная форма резко преобладает над примесной. Минералы МПГ образуют микроскопические и субмикроскопические выделения в зернах сульфидов, на их границах с силикатами и в интерстициях силикатов; для наиболее бедных руд характерны включения минералов МПГ в зернах силикатов и хромита. Широко распространены сростки минералов МПГ разного состава.

По составу рудных минералов, в которых концентрируются МПГ, выделяются два минеральных типа руд, являющихся в то же время и промышленно-технологическими – убоговкрапленный сульфидный алюмосиликатный и убоговкрапленный сульфидный хромитовый или хромит-алюмосиликатный; содержания хромита в послед-

нем варьируют от 30 до 99%. Содержания суммы МПГ и соотношения между металлами в этой сумме в рудах разных типов неодинаковы (табл. 11), однако в пределах конкретных месторождений состав руд в большинстве случаев постоянен – коэффициент вариации редко превышает 20%. Оба типа руд относятся к легкообогатимым. Минеральный состав платинометалльной минерализации не на технологию переработки руд и концентратов, поэтому по составу МПГ минеральные разновидности в составе типов руд не выделяются.

Потребительская ценность руд зависит от соотношения металлов в сумме МПГ и от величины этой суммы; последняя варьирует в широких пределах – от 1-3 до 100-120 г/т. В настоящее время разрабатываются руды при бортовом содержании 3-10 г/т суммы МПГ. Бортное содержание сильно зависит от доли платины в составе оруднения: при ее повышении бортовое содержание снижается.

Типы руд **МПГ-содержащих месторождений** весьма разнообразны. Однако их не учитывает ни характера распределения, ни концентраций платиноидов и опирается только на те особенности руд, которые влияют на технологию извлечения основных металлов – никеля и меди на медно-никелевых месторождениях, меди – на меднопорфировых, железа, меди и ванадия – на медно-железо-ванадиевых. МПГ при переработке руд МПГ-содержащих месторождений накапливаются в продуктах передела, хвостах и шламах основного производства, на которых получают платинометалльные концентраты, перерабатываемые затем по единой схеме, не зависящей от природного типа руд. Характеристика природных и технологических типов руд для этих месторождений приведена в соответствующих выпусках Справочника.

Для **платинометалльных россыпей** единым технологическим типом руд являются пески, подвергаемые гравитационной и магнитной сепарации. Для них устанавливают: содержание МПГ и состав шлиховой платины (для рутениридосминовых и иридосминовых россыпей – доля монокристаллов); размерность зерен МПГ с выделением доли самородков, крупной и тонкой платины; содержание тяжелого шлиха и его состав; обогатимость песков, которая ухудшается с увеличением количества тяжелого шлиха, особенно магнетита. Бортное содержание определяется для конкретных объектов, но в целом не опускается ниже 0,15 г/м³.

Таблица 11

Типы руд собственных платинометалльных месторождений

Типы руд	Содержание платиноидов, г/т								Содержание цветных металлов, %		Коэффициент сквозного извлечения
	Pt	Pd	Rh	Ir	Os	Ru	Ni	Cu			
Убогвокрапленный сульфидный алюмосиликатный	<u>4,82</u>	<u>2,04</u>	<u>0,24</u>	<u>0,08</u>	<u>0,08</u>	<u>0,66</u>	0,28	0,17	0,94		
	60,86	25,76	3,03	1,01	1,01	8,33					
Убогвокрапленный сульфидный хромит-алюмосиликатный	<u>3,22</u>	<u>3,24</u>	<u>0,54</u>	<u>0,27</u>	<u>0,08</u>	<u>0,87</u>	0,16	0,03	0,93		
	39,17	39,42	6,57	3,29	0,97	10,58					

Примечание. Знаменатель – доля компонента в сумме МПГ, %.

6. ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ

Оценка объектов с МПГ при поисках и разведке не одинакова для различных промышленных типов месторождений и имеет свою специфику как для коренных, так и для россыпных месторождений.

Коренные месторождения МПГ. Объектом поисков, перспективным на выявление собственных платинометалльных месторождений, являются расслоенные мафит-ультрамафитовые комплексы, характеризующиеся специфическими особенностями: повышенной плотностью и магнитностью слагающих их пород; ограниченным набором пород, состав которых варьирует от габбро в верхних частях разреза до дунитов – в нижних; наличием тонкой, часто ритмичной расслоенности в средних и нижних частях разреза; присутствием в расслоенных частях разреза горизонтов хромититов и/или убогой вкрапленности сульфидов; присутствием в хромито- и сульфидосодержащих горизонтах минералов МПГ – устойчивых соединений с высокими значениями плотности. Перечисленные особенности определяют набор методов, применяемых при поисковых работах: геологические – съемка и картирование, изучение вещественного состава выходов на дневную поверхность, валунная и шлиховая съемки; геофизические – магнито- и гравиметрические; а из электроразведочных те, которые позволяют выявлять вкрапленное оруденение.

Признаками, свидетельствующими о целесообразности изучения мафит-ультрамафитового массива, являются: наличие в нем полочатой (расслоенной) серии, которой в дальнейшем ограничиваются поиски платиноносного горизонта; наличие в шлихах, взятых из водосточков, дренирующих массив, минералов МПГ, хотя бы в знаковых количествах. На этой стадии при оконтуривании поисков массива и выяснении его соответствия типу расслоенных используются геологические и шлиховые методы, а также магнито- и гравиметрические съемки.

При опосковании потенциально перспективного массива геологоразведочные работы ведутся в его контурах с целью выявления в расслоенной и верхах ультрамафитовой серий горизонтов с сульфидной и окисно-сульфидной минерализацией. Обнаруженные горизонты прослеживаются по простиранию и падению и систематически опробуются. Методы, используемые для перечисленных целей, включают детальное геологическое картирование с изучением петрографических и минералогических особенностей выделенных участков

разреза. Для выявления сульфидоносных горизонтов, помимо геологического картирования, используются электроразведочные методы, а для оценки их платиноносности – опробование. Применяются керновое, бороздовое, задиговое и валовое виды опробования. Независимо от вида опробования, оно всегда секционное. Длина секции не более 1 м. При определении границ секций учитываются петрографический состав опробуемой части разреза, состав и распределение рудной минерализации. Масса проб не менее 3 кг. Обработка проб осуществляется по обычным схемам. В рядовых пробах устанавливаются содержания платины, палладия, родия и золота. Содержания иридия, рутения и осмия определяются в групповых пробах, а попутных компонентов – никеля и меди – в сборных по морфологическим типам сульфидного или окисно-сульфидного оруденения. Виды анализов на ЭПГ и их точность приведены в табл. 12. Применяют аттестованные аналитические методики. Контроль качества анализов проводится в соответствии с действующими инструкциями.

Рудные залежи собственных платинометалльных месторождений не имеют четких границ. В большинстве случаев различия между "рудой" и пустой породой заключаются только в степени концентрации полезных компонентов и поэтому контур рудного тела проводится по результатам опробования. Распределение полезных компонентов в рудных зонах может быть как равномерным (типы месторождений 1 и 2), так и неравномерным и очень неравномерным (тип 3). Это определяет принадлежность месторождения к той или иной группе классификации ГКЗ по их сложности и соответственно густоте наблюдения, параметры разведочной сети, при их оценке, и достоверность запасов. При неравномерном, особенно при очень неравномерном, распределении рудного вещества используется коэффициент рудоносности, величина которого варьирует в пределах 0,4-0,7 и устанавливается опытным путем.

Систематические данные о плотности разведочных сетей, применяемых при разведке собственных платинометалльных месторождений, отсутствуют. Некоторое представление о характере и детальности оценочных работ дает пример изучения платиноносного рифа массива Стиллаутер. Здесь после проведения геологической съемки, соответствовавшей приблизительно масштабу 1:10 000, на площади около 5,5-6 км² было пробурено 60 500 м колонковыми скважинами (примерно 270 скважин). Сеть неравномерная, параметры ее в разных частях изучавшейся площади колеблются от 250-100 м до 40-20 м. Плотность наблюдения максимальна на тектонически нарушенных

Основные параметры методик определения МПГ в пробах пород и руд

Название метода	Разработчик метода или его модификации	Навеска, г	Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os
			$C/\sigma_r, \%$	$C/\sigma_r, \%$	$C/\sigma_r, \%$	$C/\sigma_r, \%$	$C/\sigma_r, \%$	$C/\sigma_r, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Силикатные породы, сульфидные, хромитовые, титаномагнетитовые руды и концентраты, углеродистые сланцы								
Пробирно-атомно-эмиссионный	ЦНИГРИ	10-100	$\frac{1 \cdot 10^{-7}}{8}$	$\frac{1 \cdot 10^{-7}}{12}$	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{\sim 30}$	—	—	—
	Механобр	10-100	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{21}$	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{20}$	$1 \cdot 10^{-7}/22$	$\frac{3 \cdot 10^{-7}}{29}$	$\frac{2 \cdot 10^{-7}}{20}$	—
	Норильский ГМК	10-100	$\frac{2 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{2 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{2 \cdot 10^{-6}}{\sim 30}$	—	—	—
	Сибцветни-ипроект, г.Красноярск	10-100	$\frac{n \cdot 10^{-7}}{8}$	$\frac{n \cdot 10^{-7}}{9}$	$\frac{n \cdot 10^{-7}}{11}$	$\frac{n \cdot 10^{-7}}{12}$	$\frac{n \cdot 10^{-7}}{16}$	—
Пробирно-атомно-абсорбционный: в пламени	Механобр	10-100	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{15}$	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{16}$	$\frac{1 \cdot 10^{-5}}{13}$	$\frac{1 \cdot 10^{-4}}{15}$	$\frac{1 \cdot 10^{-5}}{16}$	—

в графитовой печи	Механобр	10-100	—	—	$\frac{1 \cdot 10^{-7}}{15}$	$\frac{3 \cdot 10^{-7}}{21}$	$\frac{2 \cdot 10^{-7}}{19}$	—
Химико-спектральный	ИГЕМ РАН	1-10	$\frac{3 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{5 \cdot 10^{-7}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{2 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{3 \cdot 10^{-6}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{3 \cdot 10^{-6}}{\text{Нет свед.}}$	—
	ИМГРЭ	1-10	$\frac{2 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{6 \cdot 10^{-7}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{2 \cdot 10^{-7}}{\text{Нет свед.}}$	—	—	—
Химико-атомно-абсорбционный	ЦНИГРИ	5	$\frac{5 \cdot 10^{-6}}{8}$	$\frac{5 \cdot 10^{-6}}{15}$	$\frac{2 \cdot 10^{-6}}{15}$	—	—	—
	ВСЕГЕИ	10	$\frac{2 \cdot 10^{-6}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{5 \cdot 10^{-7}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{1 \cdot 10^{-6}}{\text{Нет свед.}}$	—
Кинетический	ЦНИГРИ	0,5	—	—	—	—	$\frac{5 \cdot 10^{-7}}{25}$	$\frac{5 \cdot 10^{-7}}{18}$
	Механобр	0,5	—	—	—	—	—	$\frac{3 \cdot 10^{-7}}{25}$
Химико-нейтронно-активационный	ЦНИГРИ	2	$\frac{2 \cdot 10^{-6}}{13}$	$\frac{5 \cdot 10^{-6}}{13}$	$\frac{5 \cdot 10^{-6}}{14}$	$\frac{1 \cdot 10^{-8}}{7}$	$\frac{2 \cdot 10^{-6}}{26}$	$\frac{1 \cdot 10^{-7}}{14}$
Инструментальный нейтронно-активационный	ЦНИГРИ	2	$\frac{1 \cdot 10^{-4}}{11}$	$\frac{5 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{1 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{5 \cdot 10^{-5}}{20}$	$\frac{5 \cdot 10^{-5}}{20}$	$\frac{1 \cdot 10^{-5}}{19}$
	СПБГУ	2	$\frac{5 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{5 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	—	$\frac{1 \cdot 10^{-7}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{3 \cdot 10^{-5}}{\text{Нет свед.}}$	$\frac{5 \cdot 10^{-6}}{\text{Нет свед.}}$
II. Шлиховая платина								
Химико-атомно-абсорбционный	ЦНИГРИ	0,05-0,2	$\frac{70-90}{2}$	$\frac{0,1-1,5}{9}$	$\frac{0,1-1,5}{10}$	$\frac{0,3-3}{12}$	$\frac{0,02-0,5}{20}$	$\frac{0,1-2}{12}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пробирно-атомно-эмиссионный	ЦНИГРИ	0,005-4	$\frac{15-100}{3}$	$\frac{0,15-1,5}{14}$	$\frac{0,3-1,5}{17}$	$\frac{0,6-4,5}{10}$	$\frac{0,04-0,4}{18}$	$\frac{0,3-3}{25}$
Химико-нейтронно-активационный	ЦНИГРИ	1-2	≥ 10 2	$\frac{0,1}{18}$	$\frac{5 \cdot 10^{-8}}{8}$	$\frac{5 \cdot 10^{-5}}{6}$	$\frac{0,01}{18}$	-
Инструментальный нейтронно-активационный	ЦНИГРИ	0,1	≥ 10 2	$\frac{0,05}{9}$	$\frac{1 \cdot 10^{-8}}{13}$	$\frac{5 \cdot 10^{-5}}{10}$	$\frac{0,01}{18}$	$\frac{0,01}{13}$
Гамма-активационный	ЦНИГРИ	1-5	≥ 10 2	$\frac{0,10}{13}$	$\frac{5 \cdot 10^{-3}}{10}$	$\frac{5 \cdot 10^{-3}}{8}$	$\frac{0,001}{17}$	$\frac{0,005}{15}$

Примечание. В связи с отсутствием нормативов допусков на погрешности анализа ($\sigma_{др}$) минерального сырья на МПГ, для всех элементов платиновой группы за $\sigma_{др}$ принята величина 30% — условный критерий отнесения к количественным типам анализа; прочерк — определение компонента не предусматривается методикой; в числителе — предел обнаружения или интервал определяемых содержаний; в знаменателе — ошибка метода, равная сумме погрешностей, отражающих воспроизводимость анализа и влияние валового состава пробы.

участках. Средняя глубина скважин 200-220 м. С некоторым отставанием от бурения вдоль на перспективные участки проходились штольни на двух горизонтах. Из штолен бурились веера горизонтальных и наклонных скважин длиной 10-30 м (в единичных случаях до 100 м) для уточнения контуров рудной зоны, и одновременно велась разработка.

При подсчете запасов применяются методы геологических блоков и разрезов. Для оценки средних содержаний используется метод взвешивания на мощность.

При оценке МПГ-содержащих месторождений опоисковывают на МПГ все магматические проявления, с которыми могут быть связаны медно-никелевые, медно-порфировые, медно-железо-ванадиевые и титаномагнетитовые руды. Опробовываются все сульфидоносные участки таких интрузий. Опробование секционное, длина секций не более 1,5 м при оценочных работах. Отбираются также сборные пробы по рудным пересечениям, а при разведке — сборные пробы по сортам руд в каждом пересечении. Опробованию на МПГ подлежат также сульфидоносные и золотосодержащие черные сланцы, хромититы гипербазитовых тел, сульфидоносные карбонатиты и магнетитовые руды в скарнах. При оценочных и разведочных работах оценка таких объектов на МПГ осуществляется в соответствии с инструкциями, регламентирующими оценку попутных компонентов II и III групп на комплексных месторождениях. Во всех случаях определяют формы нахождения МПГ в рудах и изучают минеральный состав платиноидов. С этой целью на изучаемых объектах отбираются пробы массой не менее 10 кг для получения искусственных шлихов.

Россыпные месторождения МПГ. При поисках собственных россыпей МПГ исходят прежде всего из наличия на исследуемой территории магматических объектов — потенциальных коренных источников МПГ. При наличии МПГ в комплексных россыпях также устанавливается их предполагаемый коренной источник: магматическое тело мафит-ультрамафитового состава; магматические комплексы, потенциально продуктивные на сульфидные, хромитовые или титаномагнетитовые руды МПГ-содержащего типа; вторичные коллекторы. Наиболее продуктивны для МПГ россыпи ближнего сноса. Поэтому относительно возможного нахождения россыпей в первую очередь изучаются площади, прилегающие к массивам перечисленных выше россыпеобразующих формаций.

В целом для районов, потенциально перспективных на россыпи МПГ, собственно платинометалльные и МПГ-содержащие, характер-

ны следующие признаки: 1) развитие мафит-ультрамафитовых магматитов, относящихся к щелочно-ультраосновным массивам центрального типа, габбро-клинопироксенит-дунитовой и гипербазитовой формациям, содержащим подиформные и шлировые залежи хромита, или наличие промежуточных коллекторов; 2) высокая степень эродированности ультраосновных комплексов с преобладанием в эродированных участках ультраосновных массивов дунитов; 3) наличие обширных аномалий силы тяжести в сочетании с площадными и локальными аномалиями магнитного поля; 4) преобладание в шлихах из водотоков, дренирующих ультраосновные массивы и/или аномальные области, хромита, изоферроплатины, рутениридосминов и других устойчивых к истиранию минералов МПГ при редких знаках сперрилита, сульфидов и сульфоарсенидов платины и палладия. Обнаружение при шлиховой съемке в шлихах только сперрилита и сульфидов МПГ является отрицательным признаком при поисках собственных платинометалльных россыпей.

Основными поисковыми методами являются геологическое картирование масштабов 1:50 000 – 1:200 000 с составлением геолого-геофизических карт, отражающих особенности геологического строения фундамента с выделением ультрамафитов – возможных источников металла в россыпях; геоморфологическое картирование и шлиховая съемка.

При поисках и оценке россыпей используются траншеи, каналы, шурфы и скважины большого диаметра (500-700 мм). Весь вынутый материал подвергается промывке. Торф, пески и верхняя часть плотика опробуются раздельно. Объем проб зависит от крупности зерен МПГ, характера их распределения и уровня содержания. В каждом случае величина проб определяется экспериментально. Длина интервалов опробования по канавам и траншеям составляет 2-5 м; по шурфам и скважинам – 0,2-0,5 м. Материал промывается полностью. Вещественный состав продуктивных отложений изучается с полнотой, обеспечивающей возможность оценки промышленного значения основных (МПГ) и всех ценных попутных компонентов (золото, хромит, титаномагнетит), изучается зерновой состав песков и концентратов, устанавливается возможность извлечения попутных компонентов в самостоятельные концентраты. По мономинеральным пробам или концентратам определяются: содержание платины и других металлов группы платиноидов, наличие монокристаллов сростков минералов платины и самородков, их состав; содержание и проба золота; количество магнетита и содержание двуокиси титана.

По пробам большого объема устанавливается общее содержание тяжелого шлиха, которое влияет на технологию обогащения.

При разведке проводится техническое опробование с целью установления зернового состава рыхлых отложений, объемной массы и коэффициента разрыхления для каждой гранулометрической разновидности (отдельно по таликам и многолетнемерзлым породам), валунистости, промывистости, льдистости и влажности песков и торфов; определения размерности зерен платиноидов, их преобладающей формы. Эти данные являются основой для технологических разработок – выбора способа отработки россыпи и методов обогащения, которые обеспечивают максимальное извлечение основных компонентов (МПГ) и возможность образования концентратов попутных компонентов.

Подсчет запасов и оценка прогнозных ресурсов проводятся в соответствии с существующими инструктивными документами. Достоверность оценки запасов россыпей зависит от категории сложности их строения, которой определяются плотность наблюдений и соотношение запасов различных категорий. Специфическими чертами, отличающими требования к подсчету запасов россыпей МПГ от россыпей других металлов и минералов, являются: необходимость фиксации самородков и сростков минералов МПГ друг с другом и минералами-спутниками; определение их количества и частоты встречаемости; оценка процентного содержания отдельных платиновых металлов в сумме МПГ; определение состава шлиховой платины.

7. РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Коренные месторождения МПГ разрабатываются как подземным, так и открытым способами, россыпные – преимущественно открытым.

Ведущим способом **разработки коренных собственно платинометалльных месторождений** является подземный, используются системы с открытым очистным пространством, системы с magazинированием и комбинированные. Специальные способы разработки на месторождениях МПГ не применяются. Для вскрытия месторождения используются шахты (при крутом залегании рудных тел) и уклоны. Выбор способа и системы отработки определяется рядом особенностей этих месторождений: высокой крепостью и устойчивостью вмещающих пород, их массивным характером, слабой нарушенностью и трещиноватостью, небольшими (2 м и менее) мощностями рудных тел; высокой, как правило, выдержанностью параметров

рудных тел (протяженные пласты и линзы постоянной мощности, сложенные однородными – коэффициент вариации редко превышает 20% – рудами); постепенными контактами с вмещающими породами. Пустые породы, направляемые в отвалы, отличаются высокой устойчивостью к окислению, не возгораются, хорошо прослеживаются и плохо удерживают влагу; угол естественного откоса более 45 град, оползневая опасность практически отсутствует. Отвалы могут быть использованы при отсыпке дорог, а также в качестве балласта и строительного щебня.

В процессе разведки месторождения устанавливаются следующие параметры, которые и определяют выбор способа и системы отработки: глубина залегания и угол падения рудных залежей, крепость пород по Протодьяконову, их плотность, содержание полезных компонентов в руде (г/т); потенциальные эксплуатационные потери, величина возможного разубоживания, возможность утилизации пустых пород.

Способы разработки МПГ-содержащих месторождений более разнообразны. Их характеристика приведена в соответствующих выпусках Справочника (см. "Никель и кобальт", "Медь", "Железо", "Титан" и "Хром").

При разработке россыпей МПГ и МПГ-содержащих россыпей ведущим способом является открытый. Подземный способ применяется редко. Условия применения различных способов и систем отработки россыпей приведены в табл. 13.

8. ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЫРЬЯ

Сырьем для получения МПГ являются убоговкрапленные сульфидные (сульфидов не более 1,5%) руды с алюмосиликатной или хромит-алюмосиликатной матрицей (руды собственных платинометалльных месторождений), сульфидные (сульфидов от 10 до 99%) руды медно-никелевых месторождений, медно-сульфидные концентраты медно-железо-ванадиевых месторождений, пески благородно-металлических россыпей и платинометаллический лом.

Убоговкрапленные сульфидные руды с алюмосиликатной матрицей добываются только за рубежом. Типичным представителем являются руды рифа Меренского (Бушвельд). Среднее содержание МПГ в рудах составляет 7,92 г/т (Pt – 4,82; Pd – 2,04; Rh – 0,24; Ir – 0,08; Os – 0,08; Ru – 0,66). Попутные компоненты: никель – 0,28% и медь – 0,17. МПГ представлены самородными формами, сплавами

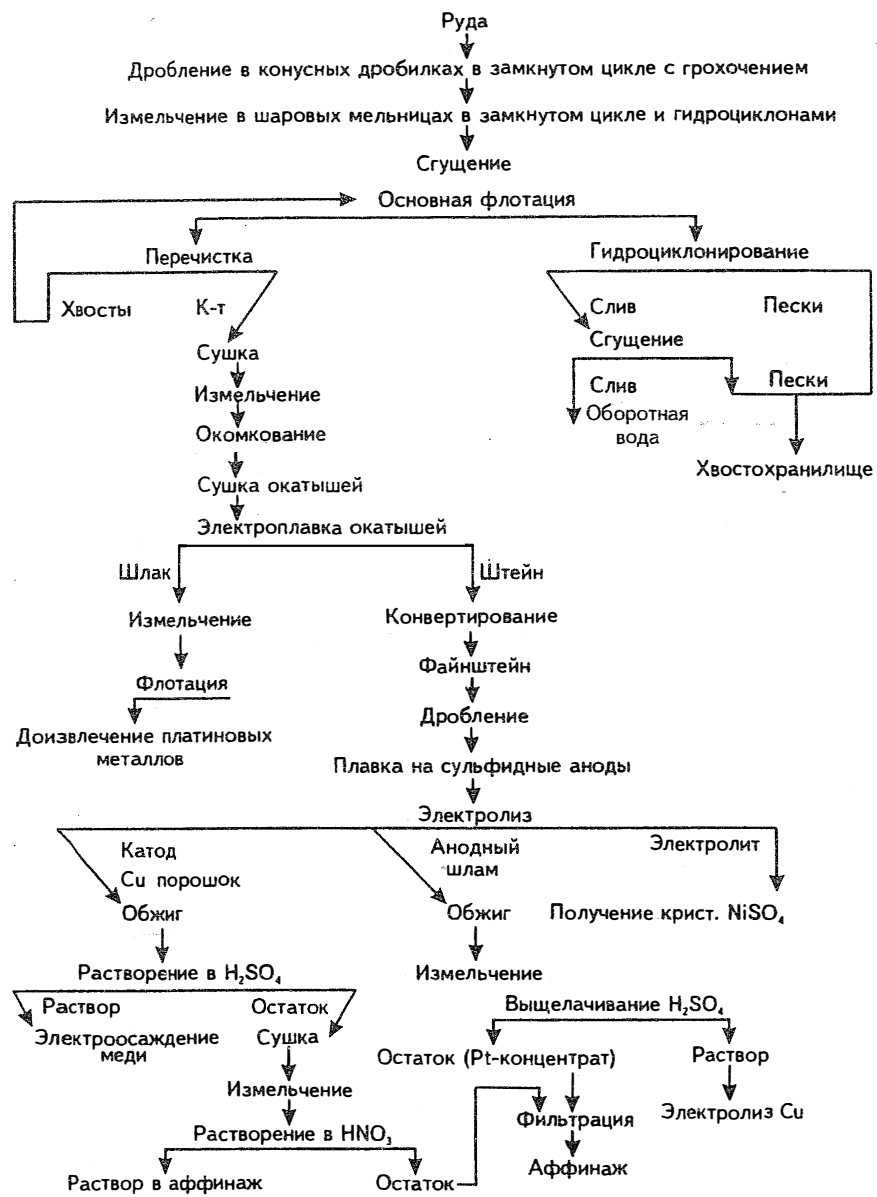
(ферроплатина), сульфидами (бреггит, куперит, лаурит) и арсенидами (сперилит); ассоциируют с пентландитом, халькопиритом и пирротинном. Типичным вариантом промышленного комплекса получения платиноидов является система производства компании "Растенбург платинум майнз" (ЮАР). Обогащение руд осуществляется комбинированным гравитационно-флотационным методом. В процессе гравитации извлекается основная часть самородной платины и ферроплатины, а при флотации – сульфидные минералы с выделением платино-медно-никелевого концентрата следующего состава (%): Ni – 3,5-4; Cu – 2-2,3; Fe – 16; S – 8,5-10; CaO – 3; MgO – 15; Al₂O₃ – 6; SiO₂ – 39; содержание МПГ 110-150 г/т. Гравитационный концентрат содержит (%) Pt – 30-35; Pd – 4-6; остальные МПГ – 0,5. Концентраты подвергают плавке – гравитационный с непосредственным выделением сплава МПГ, флотационный с получением медно-никелевого штейна, который конвертируют до файнштейна. Последний содержит благородные металлы (Pt 852,4; Pd 498,8; Rh 63,4; Ir 9; Os 1,9; Ru 126,9; Au 36,1; Ag 63,4 г/т), селен и теллур, сплав никеля, меди, серы с железом и кобальтом. Раздробленный файнштейн поступает в индукционные печи для плавки с непрерывной разливкой анодов, которые подвергаются электролизу. В процессе электролиза получают порошковую медь, электролит с содержанием никеля до 120 г/л и анодный шлам. Шлам затем перерабатывают с получением платинового концентрата, который содержит 65% МПГ в следующем соотношении (%): Pt – 71,5; Pd – 24,9; Rh – 2,3; Ru – 1,1; Ir и Os – по 0,1. Этот концентрат и сплав МПГ, полученный после плавки гравитационного концентрата, направляют на аффинаж. Принципиальная схема обогащения в гидрометаллургии приведена на рисунке. По аналогичной технологии руды рифа Меренского перерабатываются и компанией "Импала платинум" (ЮАР) с той разницей, что файнштейн вместо плавки и последующего электролиза растворяется в серной кислоте. При этом никель и медь переходят в раствор, а МПГ остаются в твердом остатке. Остаток плавят на аноды и подвергают электролитическому растворению; МПГ накапливаются в шламах (содержание МПГ 25-27%), которые вместе с гравитационным концентратом направляются на аффинаж.

Убоговкрапленные сульфидные руды с хромит-алюмосиликатной матрицей характеризуются развитием как самородных минералов МПГ, так и минералов сложного состава, которые тесно ассоциируют с хромитом, сульфидами и алюмосиликатами. Типичным представителем руд этого типа являются руды горизонта УГ-2 Бушвельдского комплекса (ЮАР), которые относятся к собственно

**Горно-геологические условия применения
различных способов отработки россыпей МПГ**

Способ отработки	Горно-геологическая характеристика россыпей	Примечание
Открытый Дражный	Талые (или предварительно оттаянные) россыпи без закарстованных и трещиноватых крепких плотиков, содержащих значительную часть запасов, при уклоне долины не более 0,03	
Гидравлический Землесосными снарядами	Песчано-гравийные россыпи шириной не менее 20-40 м и содержанием валунов размером 100-180 мм не более 4%	На 1м ³ добываемой породы приток воды 0,5 м ³
Гидромониторами	Таловые террасовые, склоновые, ложковые россыпи с ограниченным притоком поверхностных и подземных вод; долинные и русловые с небольшой водоносностью на отдельных площадях. Уклон плотика: для террасовых 0,05-0,06; для ложковых - 0,06-0,08. Высота забоя 3-30 м	Расход воды на разрушение 1 м ³ от 9 до 18 м ³ ; возмещение воды при кругообороте - 0,5 м ³ на 1 м ³ песков

Гидроэлеваторами	Русловые и долинные россыпи, расположенные ниже русла реки	
Экскаваторный с транспортировкой песков самосвалами	Безводные россыпи с небольшими запасами	
Роторные экскаваторы с перегружателями и ленточными транспортерами	Талые безводные или маловодные крупные россыпи глубиной от 3 до 50 м с мягким и сильно разрушенным плотиком в породах, выдерживающих давление 8-13 кПа	Запасы не менее чем на 3-10 лет при годовой производительности 3-4 тыс. м ³ на 1 л черпака
Бульдозерно-скреперный	Многолетнемерзлотные, маловодные террасовые и долинные россыпи с ограниченными запасами при глубине до 12 м	
Подземный	Талые россыпи глубиной более 20 м Многолетнемерзлые россыпи глубиной более 6 м Уходящие под склоны долины бортовых участков россыпей, отработанные в центральной части открытым способом	При глубинах до 25-30 м целесообразность применения подземного способа подтверждается сравнительными технико-экономическими расчетами



Принципиальная схема переработки малосульфидной платинометалльной руды
(Компания "Растенбург платинум майнз", ЮАР)

платиновым. Минералы платиноидов связаны с сульфидами (33-85%), силикатами (2-29), хромитом (2-12). Содержание МПГ в УГ-2 следующее, г/т: Pt – 3,22; Pd – 3,24; Rh – 0,54; Ir – 0,27; Os < 0,08; Ru – 0,87. В руде содержатся Ni (0,16%) и Cu (0,03); хромит составляет от 30 до 99% рудной массы. Руды перерабатываются по гравитационно-флотационной схеме. Извлечение платиноидов из хромового концентрата во флотационный продукт с содержанием МПГ 44 г/т составляет 18,5%, а из хвостов гравитации во флотоконцентрат, содержащий МПГ 50 г/т – 62% от их содержания в руде.

При переработке сульфидных МПГ-содержащих руд МПГ накапливаются в хвостах и шламах основного производства на разных стадиях технологической цепочки. Технологические схемы, используемые в России и за рубежом, несколько различаются. Ниже приводится описание двух процессов, применяемых при переработке руд Садбери (Канада) и Норильских месторождений.

Руды месторождения Садбери. Основными рудными минералами руд являются сульфиды – пентландит, халькопирит и пирротин. Минералы МПГ представлены сперрилитом и сульфидами платины и палладия. Среднее содержание МПГ составляет 0,8 г/т при колебаниях от 0,1 до 1,5. Руда подвергается дроблению и измельчению с последующей флотацией и магнитной сепарацией. В результате получают никелевый концентрат с МПГ, медный с золотом и серебром и пирротиновый, в котором благородных металлов практически нет. Содержащий МПГ никелевый концентрат обжигают для частичного удаления серы, огарки плавят и конвертируют до файнштейна. Измельченный файнштейн подвергают магнитной сепарации. В результате получают магнитную фракцию, концентрирующую основную часть платиноидов. Немagnetную часть разделяют флотацией на никелевый и медный концентраты. Часть никелевого концентрата плавят на аноды и подвергают электролизу с применением хлорида и сульфата никеля. Другую часть никелевого концентрата обжигают в печах кипящего слоя, полученную закись никеля восстанавливают до металла, отливают на аноды и также подвергают электролизу. В процессе электролиза продуктов переработки никелевой части файнштейна получают шлам, который после удаления селена и серы подвергают вторичному электролизу с получением платино-палладиевого и родий-рутен-иридиевого концентратов. Эти концентраты вместе с магнитными фракциями, полученными на ранних стадиях переработки, направляются на аффинаж.

Руды Норильских месторождений. По минеральному составу это пентландит-халькопирит-пирротиновые руды с примесью пирита,

валлериита, маккинавита, магнетита и нерудных минералов. Количество нерудных минералов варьирует в широких пределах в зависимости от того, какие руды – вкрапленные или сплошные – идут на переработку. Минералы МПГ в рудах представлены самородными формами, сплавами друг с другом, а также с железом, никелем, медью и кобальтом, соединениями МПГ с висмутом, свинцом, оловом, теллуrom, сурьмой и мышьяком, а также сульфидами и сульфоарсенидами. Минералы платиновой группы образуют мономинеральные выделения и полиминеральные сростания друг с другом и с минералами золота и серебра. Средний размер выделения МПГ 60-80 мк. В собственно минеральной форме сконцентрировано около 80% платины и палладия, остальные 20% являются изоморфной примесью в сульфидах цветных металлов. Наиболее широко минералы МПГ развиты в медистых рудах месторождений. Среднее процентное соотношение платиноидов в сумме МПГ в рудах месторождения составляет: Pd – 68; Pt – 20; Rh – 5; Ru – 3; Ir – 2; Os – 2. При переделе МПГ переходят в медный концентрат и никелевый фэйнштейн, а в процессе дальнейшей гидрометаллургической переработки накапливаются в анодных шламах – медных, никелевых и кобальтовых. Поэтому основные процессы сгущения и концентрации МПГ связаны с переработкой шламов анодного производства. С целью обогащения шламов проводится переработка их различными пиро- и гидрометаллургическими методами с получением концентратов МПГ, которые затем направляются на аффинаж. Технологические схемы обогащения шламов построены на селективном растворении цветных металлов. Благородные металлы остаются при этом в нерастворимом остатке. Раствор, содержащий сульфаты цветных металлов, возвращается в основное производство. Никелевые и кобальтовые шламы совместно с платиносодержащими оборотными продуктами подвергаются окислительно-сульфатизирующему обжигу в одноподовой печи с механическим перегреванием. Огарок и кек медного шлама (после извлечения селена) выщелачиваются в серноокислотном растворе. Кек от выщелачивания гранулируется и сушится. Гранулы направляются на восстановительную электроплавку. Полученные аноды подвергаются электрохимическому растворению с целью получения обогащенных вторичных шламов. После переработки вторичных шламов получают два платиновых концентрата, которые направляются на аффинаж.

Россыпные месторождения МПГ. Технология извлечения МПГ из россыпей включает добычу песков и их обогащение гравитационными методами. Добыча часто совмещается с гравитационным обогащением в одном аппарате.

Примерами переработки материала платинометаллических россыпей являются Кондерская и россыпи Сейнавского узла (Корякия).

Кондерское россыпное месторождение относится к золото-иридиоплатиновому типу. По данным геолого-технологического картирования продуктивной частью материала россыпи является мелкогалечно-песчаный материал (-20 мм), в котором заключены благородные металлы и попутные полезные компоненты – титаномагнетит и хромпикотит. Пески труднообогатимы, поскольку содержание тяжелой фракции достигает 47%. Содержание шлиховой платины (ШП) колеблется от 0,16 до 9,77 г/м³. В ее составе преобладает изоферроплатина в ассоциации с иридистой, менее распространена железистая и палладистая платина. Для всех разновидностей платины характерны монокристаллические включения различных МПГ, особенно осмия. Химический состав ШП приведен в табл. 15. Схема переработки песков россыпи включает дезинтеграцию, грохочение и обогащение материала 1 – 8+3 мм на установке ПОУ 4-2М. Обогащение класса -3 мм осуществляется на отсадочной машине ОМЛ с перемешиванием надрешетного и подрешетного концентратов отсадки на концентрационном столе ЗОА-КЦ с целью получения коллективного концентрата. Для выделения свободных МПГ и золота применяются магнитная сепарация, гравитационная доводка на вибрационном центробежном доводочном сепараторе (ВЦДС) и амальгамация. Магнитной сепарацией получают немагнитную фракцию, содержащую 1,9 кг/т МПГ с извлечением ШП 96,5%. ВЦДС обеспечивает получение концентрата с содержанием МПГ 90,6 кг/т при извлечении 97,9%. Россыпной материал тонкого состава обогащается на оборудовании, аналогичном применяемому для оловоносного сырья. Извлечение ШП и золота составляет 89-90%. Титаномагнетитовый и хромпикотитовый товарные продукты извлекаются магнитной сепарацией из продуктов первичного обогащения исходных песков на 70-75%.

Россыпи Сейнавского узла связаны с аллювиальными отложениями террас и поймы. При примерно одинаковом содержании МПГ состав песков террас и поймы различается: в первых преобладают оливин, серпентин, пироксен и амфиболы, во вторых – кварц и плагиоклаз; содержание магнетита 8,5 и 0,03% соответственно. Сумма МПГ и золота в этих россыпях 2,5-3,1 г/т, для отдельных россыпей до 10-12. Пески всех россыпей относятся к среднепромывистым. По крупности ШП преобладает мелкая (0,78 мм) и весьма мелкая (0,58 мм) платина. Поскольку преобладающая доля платины имеет крупность +0,5 мм, эта фракция и определяет общий уровень извлечения МПГ при обо-

гашении песков на шлюзовых промывочных приборах (95,3%). Технологическая схема обогащения песков на промывочном приборе ПКБШ включает обработку материала на грохоте-дезинтеграторе, где в глухом скруббере пески дезинтегрируются, а в перфорированном разделяются на три класса. Пески крупностью -20 и -50+20 мм обрабатываются в шлюзовом агрегате ШГМ-6-700. Черновой концентрат доставляется на шлихообогадительную установку (ШОУ). Он состоит из МПГ, шпинелидов, пироксена, оливина и полевых шпатов. Преобладает среднемагнитная платина (79,4%), сильномагнитная и немагнитная составляют 7,5 и 13,1% соответственно. Получение товарного продукта из черного концентрата включает следующие операции: грохочение; обогащение на отсадочной машине материала -20 мм с целью удаления минералов породы; последовательное обогащение хвостов отсадки на шлюзе и вибрационно-центростремительном сепараторе, гарантирующее минимальный уровень потерь МПГ в отвальном продукте; раздельное электромагнитное обогащение над- и подрешетных концентратов отсадки с целью извлечения магнитной платины; доводку магнитной фракции на концентрационных столах и окончательную доводку концентратов столов до ШП на вашгерде. Извлечение МПГ составляет 99,5-99,9%. Таким образом, сквозное извлечение МПГ из исходных песков составляет 93%.

Аффинаж платиновых металлов осуществляется комплексом многочисленных взаимосвязанных операций (растворение, доводка растворов и избирательное осаждение отдельных МПГ), обеспечивающих получение чистых платиноидов. Сырьем для получения платиновых металлов служат: ШП, извлекаемая при обогащении песков россыпей; концентраты, выделяемые в результате обогащения и гидрометаллургической обработки анодных шламов электролиза никеля и меди; различные отходы, прежде всего лом вторичных платиновых металлов и др. Вторичное платиносодержащее сырье имеет довольно пестрый состав, так как, кроме лома изделия из платиноидов и сплавов цветных и благородных металлов, перерабатываются платиновые концентраты (Pt и Pd не менее 10-15%), получаемые на заводах вторичных благородных металлов – отработанные платиновые катализаторы, выломки футеровок печей для плавки благородных металлов и пр.

9. ИСЫТАНИЕ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ

Оценка качества и технологических свойств платинометаллического сырья проводится стадийно в едином комплексе геологоразведочных работ и является его неотъемлемой частью. Основные положения требований к оценке изложены в выпуске “Общие положения” настоящего Справочника и в полной мере относятся к платинометаллическому сырью как собственным, так и МПГ-содержащим месторождений.

Специфика оценки платинометаллического сырья заключается в следующем.

1. В рудах собственных платинометаллических месторождений нижним пределом содержаний МПГ, доступным для извлечения по ныне существующим технологическим схемам, является 0,5 г/т, при котором процесс извлечения становится неустойчивым. Это нижний предел минимального промышленного содержания. Верхний предел этой величины обычно составляет не менее 2 г/т.

2. В рудах МПГ-содержащих месторождений платиноиды относят к двум группам попутных компонентов – II и III, которые либо образуют собственные минералы, извлекаемые при обогащении в самостоятельный концентрат, либо входят в состав минералов основных компонентов, при обогащении извлекаются в коллективный концентрат и накапливаются в шламах его переработки. Компоненты обеих групп имеют промышленное значение, если степень их концентрации в технологических продуктах обеспечивает извлечение компонентов на экономически рентабельной основе. Для МПГ это величина, близкая к 0,07 г/т.

3. Пески собственных платинометаллических россыпей разрабатываются, начиная с содержаний 0,15-0,20 г/м³ (Урал). Для комплексных россыпей, в которых МПГ являются попутными, нижнего предела их содержаний нет: в россыпях золота утилизируются МПГ при содержаниях 1-3 мг/м³.

В целом пригодность МПГ-содержащего сырья для переработки с получением чистых металлов определяется только особенностями технологии переработки основного сырья, а не уровнем их содержания в рудах.

Объективные сложности аналитики МПГ, отсутствие стандартных образцов, использование неаттестованных методик часто приводят к значительному (1-2 порядка) завышению содержаний и неоправданно высокой оценке промышленной значимости месторождения. Поэтому уже на самых ранних стадиях оценки месторожде-

ний МПГ строго соблюдаются требования по выбору методики аналитических определений, проведению внутри- и межлабораторного и арбитражного контроля.

10. ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Платина, палладий и родий – общетоксичные металлы неясной биологичности, а осмий и рутений – высокотоксичные. Для платиновых металлов характерна высокая устойчивость к химическим воздействиям, они трудно поддаются действию кислот (см. табл. 2). Однако при извлечении платиновых металлов, кроме механического обогащения, применяют растворение в царской водке и выплавку металлов с восстановителем. Очистку от примесей осуществляют осаждением из кислотных растворов в форме хлорного комплексного соединения – платины и других платиновых металлов, кроме осмия.

Поскольку технология извлечения и очистки платиновых металлов связана с применением царской водки и хлора, особые требования предъявляются к аппаратуре, стойкой к агрессивным средам (каменное литье, керамика, свинец, особое кварцевое стекло). При производстве платиновых металлов нормируются предельно допустимые концентрации на диоксид азота в рабочей зоне производственных помещений и в атмосферном воздухе населенных мест.

Каталитические свойства платины способствуют дожиганию и обезвреживанию выхлопных газов, что улучшает экологическое состояние атмосферы городов. Как катализатор используется также оксид осмия O_2O_4 . Он представляет собой легкоплавкое и легколетучее вещество, его пары обладают резким запахом, сильно разъедают слизистую оболочку глаз, действуют на дыхательные пути.

Характерной чертой МПГ и их природных соединений является высокая устойчивость к любым природным воздействиям. Поэтому по суммарному экогеохимическому показателю собственные месторождения МПГ относятся к наиболее экологически благоприятным литообъектам. По величинам коэффициентов геотоксичности (табл. 14) МПГ относятся к III и IV классам. Исключение составляют некоторые изотопы рутения и родия, которые радиоактивны и относятся к I классу, объединяющему супертоксичные вещества. Однако для природных объектов с МПГ и для обычных технологий оценки, разработки и извлечения МПГ из руд радиоактивность изотопов указанных металлов значения не имеет – содержания самих компонен-

тов в рудах очень низки, а содержания изотопов исчезающе малы. Их супертоксичность приобретает значение лишь при специальном изотопном обогащении исходного металла и при утилизации отходов от ядерных реакторов. ПДК для ЭПГ и их соединений в настоящее время не существует.

Таблица 14

Коэффициенты литотоксичности (T_L) элементов группы платины по геохимическим группам

Класс опасности	T_L	Элементы		
		Литофильные	Сидерофильные	Халькогидрофильные
Супертоксичные	15	Rh (изотоп)		Ru (изотоп)
I класс	10		Ru	
II-III классы	5		Os	Pt
Общетоксичные	1		Ir	Rh, Pd
VI класс				

Отрицательное влияние разведки и последующего промышленного освоения собственных платинометалльных и МПГ-содержащих месторождений на окружающую среду выражается, как и для месторождений других металлов, главным образом в нарушении ландшафта, отведении больших площадей под отвалы, хвостохранилища, отстойники, а при эксплуатации россыпей – загрязнении проточных вод, засорении русла механическими взвесями и нарушении речного режима.

В результате разведки месторождения получают сведения, которые позволяют обосновать целесообразность его освоения с учетом вида, характера и степени воздействия на окружающую среду. Варианты отработки месторождения выбираются с учетом стоимости и эффективности природоохранных мероприятий. Предпочтение отдается варианту, наносящему минимальный экологический ущерб при рациональной полноте использования запасов.

При разработке открытым способом большие площади земель подвергаются нарушению. Изменяется рельеф, полностью нарушает-

ся почвенный и растительный покров на всей территории месторождения и прилегающих к нему площадях, ухудшаются санитарно-гигиенические условия.

Подземный способ добычи позволяет сократить площадь горного отвода и избежать ландшафтных изменений. Однако при применении систем отработки с обрушением возникает опасность обвалов, проседания, трещин и оползней на поверхности; территории, прилегающие к руднику, обезвоживаются или затопляются рудными водами. Система отработки с заполнением выработанного пространства, хотя и более дорогостоящая, позволяет не только сократить площади горного отвода, но и исключает деформацию земной поверхности и создает условия для складирования в недрах отходов горного и обогащательного производства.

При промышленном освоении месторождения МПГ основную экологическую опасность представляют сточные воды и отходящие металлургические газы, образующиеся при процессах обогащения и гидро- и пирометаллургических.

Устранение последствий горных работ, переработки руд и их металлургического передела практически не отличается от мероприятий, рассмотренных в выпуске «Общие положения» для других металлов.

11. ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Геолого-экономическая оценка месторождений МПГ так же, как и месторождений других полезных ископаемых, сводится к выбору и расчетам технико-экономических показателей, перечень которых приведен в выпуске «Общие положения».

Специфическими особенностями МПГ, влияющими на некоторые оценочные показатели, являются следующие.

Отсутствие не только четких геологических границ, но и визуально наблюдаемых прямых признаков оруденения, наличие которого устанавливается только по результатам опробования, и возможные варианты оконтуривания рудных тел существенно влияют на значения основных показателей оценки – запасы и средние содержания. При росте запасов в десять раз с учетом снижения эксплуатационных затрат на 1 т руды кондиции при прочих равных условиях снижаются примерно в два раза. Еще большее влияние на оценку месторождения оказывает содержание металла в руде, так как существует прямая зависимость между этим показателем и извлекаемой ценностью

из 1 т руды. Для месторождений МПГ проблема достоверности определения содержаний весьма актуальна.

Незначительные мощности рудных тел не только обуславливают применение дорогостоящих систем отработки, но и, особенно в сочетании с крутыми углами падения рудных тел и наличием “пустых” прослоев, приводят к весьма значительному разубоживанию. Так, на месторождении Стиллиуотерского массива величина разубоживания достигает 300%. Кроме того, большая плотность минералов МПГ и их предпочтительная приуроченность к межзерновым пространствам, трещинам и пустотам рудовмещающих пород приводят к потерям с рудной мелочью при неполной выемке из камер, погрузке и транспортировке руды, особенно на большие расстояния, что также увеличивает разубоживание. Величина разубоживания значительно влияет на минимальное промышленное содержание, что приводит к уменьшению эксплуатационных запасов по сравнению с разведанными.

Особенности распределения концентраций МПГ в рудах – соотношение минеральной и примесной форм нахождения, размер выделений минералов МПГ и характер их сростаний с сопутствующими сульфидами цветных металлов, хромитом или силикатами, влияют на полноту и уровень извлечения МПГ в концентрат. От этого зависит величина той части эксплуатационных запасов, которая будет превращена в товарный продукт. Содержание металла в отвальных хвостах служит нижним пределом бортового содержания при подсчете балансовых и забалансовых руд. Бортовое содержание определяется для каждого конкретного объекта.

Комплексный характер оруденения месторождений МПГ обуславливает необходимость приведения содержаний попутных компонентов к содержанию основного металла с использованием переводных коэффициентов. Коэффициент учитывает цену конкретного МПГ, его содержание в рудах и извлекаемость. Это обеспечивает не только соблюдение принципа полноты использования недр, но и повышает экономическую эффективность промышленного освоения месторождения, обеспечивая возможность снижения кондиций по основному компоненту и перевод отдельных геологических блоков или всего месторождения из разряда непромышленных в категорию промышленных, из забалансовых в балансовые. Основной компонент определяется максимальной долей в общей ценности возможной товарной продукции. Учитывая содержания и соотношения цен на отдельные металлы платиновой группы, в качестве основного компо-

нента выступает платина (при отношении палладия к платине менее 4,5) или палладий – при том же отношении более 4,5. Остальные МПГ, а также сопутствующие компоненты: медь, никель, кобальт, хром, учитываются в качестве попутных, если их содержания в рудах выше потерь в хвостах обогащения, которые устанавливаются по данным технологических испытаний проб оцениваемого месторождения.

При оценке комплексных МПГ-содержащих месторождений необходимо принимать во внимание следующее. Доля извлекаемой ценности МПГ в общей стоимости сульфидных МПГ-содержащих руд невелика (3-5%; лишь для богатых руд Норильских месторождений эта доля превышает 12%), поэтому в соответствии с инструкцией ГКЗ эти металлы относятся к III группе попутных компонентов. Их влияние на параметры кондиций осуществляется либо учетом дополнительной прибыли от реализации, либо введением повышающего коэффициента к цене основного компонента. На золоторудных и месторождениях хромитов извлекаемые МПГ учитываются как дополнительная прибыль.

Россыпные месторождения МПГ оцениваются на основе принципа безубыточности или нулевой рентабельности с использованием предварительно составленных порайонных кондиций. Они включают в себя следующие параметры: бортовое и минимальное промышленное содержания в зависимости от мощности продуктивного пласта песков и перекрывающих торфов, минимальное содержание в краевой выработке, максимально допустимую мощность некондиционных прослоев. Кроме того, в отдельных случаях в качестве дополнительных лимитов обосновывается градиент минимального содержания на 1м³ вскрыши; для некоторых районов учитываются запасы песков в россыпи. Горно-технические показатели разработки россыпей включают следующие параметры: уклон долины и плотика; максимально возможная глубина отработки; валунность россыпи; промывистость песков. Способы их обоснования приведены в соответствующих инструктивных материалах.

Месторождения МПГ подлежат геолого-экономической оценке на всех стадиях их изучения. Основой оценки является вариантный подход к подсчету запасов, характеристики (промышленные кондиции) которых используются в качестве исходных при определении технико-экономических показателей. Их состав мало меняется на разных стадиях изучения месторождений, однако обоснованность кондиций увеличивается при переходе от ранних стадий геологоразведочных работ к завершающей, разведочной.

В условиях рыночной экономики оценку эффективности освоения месторождений, сравнение различных инвестиционных проектов, выбор лучшего объекта из ряда сходных проводят с использованием следующих показателей: чистой современной стоимости или чистого дисконтированного дохода (ЧДД); внутренней нормы доходности (ВНД); срока окупаемости капиталовложений; индекса доходности (ИД).

Таблица 15

Параметры месторождений и предприятий, являющихся объектами геолого-экономического расчета

Показатели	Модель I	Модель II
Форма рудных тел	Пластообразная	Пластообразная
Залегание (угол падения), град	18	70
Размеры рудных тел, м:		
мощность	2	2
длина по простиранию	1000	1000
длина по падению	650	650
Запасы руды, млн.т	5,2	5,2
Преобладающий минеральный состав платинометалльной минерализации	Сульфиды, арсениды, сульфоарсениды, теллуриды, сплавы	
Средние содержания благородных металлов в рудах, г/т:		
платина	2,55	5,12
палладий	3,9	16,92
родий	0,075	1,82
золото	0,3	0,54
В пересчете на условную платину	3,85	13,49
Коэффициент разубоживания, %	10,6	29,4
Коэффициент извлечения, %	85	85
Производительность рудника, млн т/год	0,5	0,5
Эксплуатационные затраты на добычу и обогащение, дол/т	23,18	49,10

В качестве примера ниже рассмотрена оценка двух коренных месторождений, относящихся к одному геолого-промышленному типу, но различающихся условиями залегания и уровнем концентрации МПГ в рудах. При расчете приняты следующие условия: месторождения располагаются на неосвоенных территориях в однотипных физико-географических условиях; рудные тела выходят на поверхность, характеризуются выдержанностью мощности, постоянством средних содержаний МПГ и их соотношений; разработка месторождений планируется подземным способом; уровень цен на МПГ и золото соответствует первой половине 1987 г. (Pt 17,09; Pd 3,98; Rh 37,8; Au 12,87 дол /г). Остальные параметры приведены в табл. 15. Результаты дисконтированной денежной оценки месторождений приведены в табл. 16.

Таблица 16

Результаты дисконтированной оценки базовых геолого-экономических моделей

Параметры оценки	Норма дисконтирования, %			
	0	5	10	15
Чистая современная стоимость (ЧДД), млн дол.	<u>21,2</u> 153,46	<u>6,75</u> 92,96	<u>-2,39</u> 54,85	<u>-8,15</u> 30,26
Срок окупаемости капиталовложений, годы	<u>4,1</u> 2,1	<u>5,4</u> 2,4	<u>Более 9</u> 2,9	<u>-</u> 3,6
Внутренняя норма доходности (ВНД), %			<u>8,45</u> 27,02	
Срок разработки месторождения, лет	<u>10</u> 10			

Примечание. В числителе – для модели I, в знаменателе – для модели II.

Анализ результатов оценки позволяет сделать следующие выводы.

1. Эксплуатация месторождений, описываемых моделью I, убыточна – ЧДД менее 0. Рентабельная разработка возможна при содержании условной платины не ниже 4 г/т.

2. Эксплуатация месторождений, описываемых моделью II, прибыльна и перестает быть таковой лишь при снижении содержания условной платины до 9 г/т.

3. При одинаковых (близких) уровнях содержаний условной платины большую прибыль будут приносить месторождения с высоким залеганием рудных зон.

Приведенные расчеты, выполненные применительно к зарубежным месторождениям собственных платинометалльных месторождений, могут быть использованы при оценке месторождений МПГ на территории России.

В соответствии с Временным руководством по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу технико-экономических обоснований (ТЭО) кондиций на минеральное сырье (1997) для небольших по запасам месторождений платиноидов ТЭО разведочных кондиций для каждого объекта может не разрабатываться. В этом случае подсчетные параметры для оценки месторождений определяются согласно требованиям ГОСТов, ОСТов, технических условий заказчика или, для россыпных месторождений платиноидов, на основе так называемых районных кондиций, утвержденных в установленном порядке.

Литература*

1. Беневольский Б.И., Зубатарева Л.И. Минерально-сырьевая база и конъюнктура платиноидов зарубежных стран. – М., 1993 (Геол. методы поиска и разведки м-ний тверд. полезн. ископаемых: Обзор/МГП «Геоинформмарк»).
2. Геология и генезис месторождений платиновых металлов. – М.: Наука, 1994.
3. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. – М., 1994-1997. – Кн. 1-5.
4. Кривцов А.И. Месторождения платиноидов (геология, генезис, закономерности размещения). Сер. Рудные месторождения. – Т. 18. – М.: ВИНТИ, 1988.
5. Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Сахьянов Л.О. Платинометалльная минерализация зональных ультраосновных и коматитовых массивов. – Л.: Недра, 1992.
6. Минералы благородных металлов: Справочник / О.Е.Юшко-Захарова и др. – М.: Недра, 1986.
7. Минералого-геохимические типы россыпей платиноидов и их промышленное значение / А.Г. Мочалов и др. // Минералогия и геохимия россыпей. – М.: Наука, 1992.

* Фундаментальная, нормативно-методическая и инструктивная литература приведена в выпуске “Общие положения”.

8. *Оценка платиноносности расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов* /В.И. Кочнев-Первухов, Е.С.Заскинд, О.М. Конкина и др. //Руды и металлы. – 1995. – № 4.

9. *Платина России.* – Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. – М.: АО “Геоинформарк”, 1994.

10. *Платина России* / Сб. Научн. трудов. – Т. II, кн. 1; Т. II, кн. 2.

11. *Платинометалльные месторождения мира* / Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, Д.В.Польяров и др. – Т. 1, кн. 1: Платинометалльные моносльфидные месторождения в ритмично расслоенных комплексах. – М.: АО “Геоинформмарк”, 1994.

12. *Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов.* /А.И.Кривцов, И.З.Самонов, Е.И.Филатов и др. – М.: Недра, 1985.

13. *Юшко-Захарова О.Е.* Платиноносность рудных месторождений. – М.: Недра, 1975.

14. *Buchanan D.L.* Platinum-group element exploration. – Amsterdam, 1988.

15. *Platinum 1995.* – Johnson Matthey.

16. *The Stillwater complex, Montana: Geology and guide.* – Montana bureau of mines, Special publ. – 1985. – Vol. 92.

Приложение

Перечень стандартов

ГОСТ 13098-67 Родий. Марки

ГОСТ 13099-67 Иридий. Марки

ГОСТ 13462-79 Палладий и палладиевые сплавы. Марки

ГОСТ 13498-79 Платина и платиновые сплавы. Марки

ТУ 12340-81Е Палладий в слитках

ТУ 12341-81Е Платина в слитках

ТУ 12338-81Е Иридий в порошке

ТУ 12339-79 Осмий в порошке

ТУ 12342-81 Родий в порошке

ТУ 12343-79 Рутений в порошке

ТУ 14836-82 Палладий в порошке

ТУ 14837-79 Платина в порошке

Оглавление

1. Общие сведения	3
2. Области применения	8
3. Основные минералы элементов платиновой группы	8
4. Промышленные типы месторождений	18
5. Природные и технологические типы руд	29
6. Оценка месторождений при поисках и разведке	32
7. Разработка месторождений	39
8. Промышленная переработка сырья	40
9. Испытание качества сырья	49
10. Влияние геологоразведочных работ, добычи и переработки сырья на окружающую среду	50
11. Геолого-экономическая оценка месторождений	52
Литература	57
Приложение	58

УДК 553.491

Минеральное сырье. – Металлы платиновой группы / В.И.Кочнев-Первухов, Е.С.Заскинд, О.М.Конкина, В.П.Ивановская, Т.Н.Матевич //Справочник. – М.:ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 58 с.

Охарактеризованы общие сведения о металлах платиновой группы, области их применения, основные минералы, промышленные типы месторождений, природные и технологические типы руд, оценка месторождений при поисках и разведке, разработка месторождений, промышленная переработка и испытание качества сырья, влияние геологоразведочных работ, добычи и переработки сырья на окружающую среду, геолого-экономическая оценка месторождений.

*Владимир Ильич Кочнев-Первухов
Евсей Сохорович Заскинд
Ольга Михайловна Конкина
Виктория Петровна Ивановская
Татьяна Наумовна Матевич*

Минеральное сырье. Металлы платиновой группы

Ведущий редактор Т.С.Гречина
Технический редактор М.К.Кузьмина
Корректор Х.Х.Калимулина

Подписано в печать с оригинал-макета 05.05.98

формат 60x84/16 Бумага картографическая Печать офсетная
Усл. печ. л. 3,5 Усл. кр.-отг. 3,75 Уч.-изд.л. 3,0
Тираж 365 экз. Заказ 18

ЗАО «Геоинформмарк». 109172, Москва, ул. Гончарная, 38. Тел. ред. 915-60-84

Перечень выпусков справочника "Минеральное сырье"

Общие положения	<i>Радиоактивные металлы</i>	Перлит
Сырье металлическое минеральное	Торий	Песок кварцевый
<i>Черные металлы</i>	Сырье неметаллическое минеральное	Породы опал-кristобалитовые
Железо	<i>Сырье горно-химическое</i>	Сырье керамическое
Марганец	Бор	Сырье кислотоупорное
Титан	Руды фосфатные	Сырье изоляционное
Хром	Сапропели	Сырье песчано-гравийное
<i>Цветные металлы</i>	Сера	Сырье стекольное
Алюминий	Соли минеральные	Сырье цементное
Висмут	<i>Сырье горно-техническое</i>	<i>Сырье кристаллическое, камнесамоцветное</i>
Вольфрам	Абразивы	Алмазы
Медь	Асбест	Камни ювелирные и ювелирно-поделочные
Молибден	Барит	Сырье пьезооптическое
Никель и кобальт	Волластонит	<i>Сырье твердое топливно-энергетическое</i>
Олово	Глины	Сланцы горючие
Ртуть	Графит	Торф
Свинец и цинк	Камни фарфоровые	Уголь
Сурьма	Каолин	Уран
<i>Редкие металлы</i>	Криолит	Сырье жидкое и газообразное топливно-энергетическое
Бериллий	Магнезит и брусит	Битумы нефтяные природные
Ванадий	Материалы формовочные	Газы горючие
Галлий	Мышьяк	Нефть
Германий	Слюда	Сырье гидроминеральное
Индий	Сорбенты	Бром и йод
Кадмий	Сырье кремнеземное	Воды минеральные
Иттрий и лантаноиды	Сырье полевошпатовое	Воды пресные
Литий	Тальк и пиррофиллит	Воды промышленные
Ниобий и тантал	Флюорит	Воды термальные
Рений	Цеолиты	Другие виды минерального сырья
Рубидий и цезий	Шунгит	Газы инертные
Селен	<i>Сырье минерально-строительное</i>	Образования железомарганцевые
Скандий	Гипс и ангидрит	Сырье синтетическое
Стронций	Доломит	Сырье техногенное
Таллий	Известняк	
Теллур	Камни облицовочные	
Цирконий и гафний	Камни строительные и заполнители бетона	
<i>Благородные металлы</i>	Краски минеральные	
Золото	Мел	
Металлы платиновой группы	Наполнители	
Серебро		