

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ЛОМОНОСОВСКИЙ ИНСТИТУТ

553.41

554

Л.Г. БЕТЕХТИН

ПЛАТИНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1935

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ЛОМОНОСОВСКИЙ ИНСТИТУТ

А. Г. БЕТЕХТИН

П Л А Т И Н А
И ДРУГИЕ МИНЕРАЛЫ ПЛАТИНОВОЙ
ГРУППЫ

2070 2438

БИБЛИОТЕКА
Геологического Ин-та
Арх. Фан. Наук СССР

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА

1985

ЛЕНИНГРАД



Напечатано по распоряжению Академии Наук СССР

Сентябрь 1935 г.

Непременный секретарь акад. *В. П. Волгин*

Редактор издания проф. *П. И. Лебедев*

Техн. редакторы: *Р. Ольгин* и *И. П. Пошешулин*

Ученый корректор *Л. Г. Афанасьева*

Сдано в набор 29/VI 1935 г. Подписано к печати 13/IX 1935 г. Формат бумаги $72 \times 110^{1/4}$. Объем $9^{1/4}$ п. л. + вкл.
 $1^{1/2}$ л. 48 000 п. зн. Тираж 1000 экз. Уполн. Главл. В-28352. АНИ № 12. Зак. тип. 2118.

1-я Образцовая типография Огиза РСФСР треста «Полиграфкнига». Москва, Валовая, 28.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	5
Некоторые исторические даты	10

ОПИСАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ

А. Минералы, первично отложенные при эндогенных процессах	15
I. Группа самородной платины	15
1. Ферроплатина	16
2. Поликсен	29
3. Иридная платина	31
4. Платинистый иридий	35
5. Родистая платина	37
6. Палладистая платина	38
7. Палладий	40
8. Аллопалладий	40
II. Группа осмия—рутения (осмистого иридия)	41
9. Осмит	42
10. Сысерскит	43
11. Рутениевый сысерскит	44
12. Невьянскит	45
13. Рутениевый невянскит	50
14. Платиновый невянскит	51
15. Родиевый невянскит	51
III. Группа сернистых, мышьяковистых и сурьмянистых соединений.	51
16. Сперрилит	52
17. Лаурит	56
18. Куперит	58
19. Браггит	60
20. Стибиопалладинит	61
IV. Группа золота	64
21. Порпецит (палладистое золото)	65
22. Платинистое золото	66
23. Иридное золото	66
24. Родит (родистое золото)	66

В. Минералы эндометамоρφических процессов . . .	67
V. Группа купроплатины	67
25. Купроплатина	67
26. Никелистая платина	73
С. Экзогенные минералы элементов платиновой группы	76
VI. Группа платины и палладия	76
27. Платина	77
28. Палладистая платина	78
29. Палладий	79
30. Палладит	79

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

I. Классификация месторождений минералов платиновой группы.	81
II. Общий обзор распространения минералов платиновой группы в СССР	83
III. Геологическая характеристика главнейших месторождений платиновых металлов Союза.	95
а. Коренные месторождения платины на Урале	95
1. Минералогическое описание платиновых руд	96
2. Морфологическая характеристика рудных тел и текстуры руд	105
3. Возрастные взаимоотношения минеральных компонентов и генезис месторождений	110
б. Россыпные месторождения	120
IV. Сводка химических анализов минералов платиновой группы из месторождений СССР	121
Анализы самородной платины и платинистого иридия	122
1. Платина из коренных месторождений Нижне-Тагильского дунитового массива	122
а. Анализы самородной платины	125
2. Платина из россыпных месторождений	125
б. Анализы осмистого иридия из Уральских и Сибирских россыпных месторождений	134
с. Анализы сперрилита из Сибирских месторождений	136
д. Анализы иридистого и платинистого золота с Закавказья	136
V. Применение металлов платиновой группы	136
VI. Сопоставление месторождений платиновых металлов СССР с иностранными.	139
Указатели литературы	141

ВВЕДЕНИЕ

Шесть металлов платиновой группы: рутений — Ru, родий — Rh, палладий — Pd, осмий — Os, иридий — Ir и платина — Pt в периодической системе Менделеева занимают место в VIII группе.

Приведем их здесь в виде таблички ¹.

43 Ma	44	45	46	47 Ag
	$n 10^{-11}$ 101.7	$n 10^{-11}$ 102.9	$n 10^{-11}$ 106.7	
75 Re	76	77	78	79 Au
	$n 10^{-10}$ 190.9	$n 10^{-10}$ 193.1	$n 10^{-9}$ 195.0	

Как видим, ряд Ru — Pd располагается в периодической системе между элементами мазурием с порядковым номером 43 и серебром с порядковым номером 47. Соответственно ряд Os — Pt занимает место между рением и золотом.

Как известно, вся эта группа платиновых металлов имеет свойства слабокислотных и слабоосновных металлов и характеризуется множеством общих признаков как в физическом, так и в химическом отношениях. Однако, несмотря на это, химизм этих элементов в природной обстановке, т. е. геохимия каждого из них отличается несколько своеобразным характером.

¹ В приводимой табличке цифры перед названием элемента означают его порядковый номер; под знаком элемента — атомный вес; после знака элемента — число электронов в каждой оболочке атома; над элементом даны цифры среднего содержания в земной коре в весовых процентах (по Клерку и Вашингтону). Кругами обозначены размеры атомных радиусов, причем наружные круги отвечают нейтральным атомам (для Ru=1,30 Å, Rh=1,30 Å, Pd=1,37 Å, Os=1,31 Å, Ir=1,35 Å и Pt=1,38 Å), а внутренние круги показывают ионные радиусы в соответствии с валентностями (для Ru⁴⁺=0,65 Å; Rh³⁺=0,69 Å; Os⁴⁺=0,67 Å; Ir⁴⁺=0,66 Å).

Прежде всего следует подчеркнуть, что в то время, как в лабораторных наших условиях эта группа химических элементов способна давать огромное количество самых разнообразных и сложных химических соединений, в природных условиях мы имеем буквально не больше 2—3 десятков известных нам минеральных видов этих металлов. Но и среди этих естественных соединений мы можем заметить, что эти элементы ведут себя не совсем одинаково. Элементы с минимальным атомным весом: Ru и Os, занимающие левую часть нашей таблицы, по своим свойствам в природных условиях резко отличны от элементов правой части, т. е. элементов с максимальным атомным весом: Pd и Pt. До сих пор эти две пары элементов не были встречены в сколько-нибудь значительных количествах совместно в одних и тех же минералах, несмотря на то, что сами минералы, содержащие эти элементы, парагенетически бывают тесно связаны между собою. Ir и Rh занимают промежуточное положение, вернее играют двойственную роль: они, с одной стороны, образуют химические соединения переменного состава с элементами Os и Ru, а с другой — входят в твердые растворы с Pt, Pd, нередко вместе с железом, в виде так называемой «самородной платины». Лишь изредка удавалось обнаружить в богатой родием платине (например, Виллюйской) содержание рутения до 2,76%. Однако, минералогически эта платина не была изучена и потому возможно, что рутений присутствует не в виде твердого раствора, а может быть в виде какого-либо самостоятельного химического соединения, включенного в самородную платину. Точно так же содержание платины в осмистом иридии иногда достигает единиц процентов. Характерно также, что правые и левые пары элементов платиновой группы способны образовывать природные химические соединения с S, As и Sb, например: (Ru,Os)S₂, PtAs₂, PtS, (Pt, Pd,Ni)S, Pd₃Sb. Однако для Rh и Ir мы подобных соединений еще не знаем. При этом следует оговориться, что количественное значение подобных соединений сравнительно невелико. Главная же масса элементов платиновой группы находится в самородном состоянии, преимущественно в виде двух главнейших минеральных видов: так называемой «самородной платины» и осмистого иридия.

Как видно из приведенной таблички, преобладающим из этих элементов в литосфере является платина, затем следуют: иридий, осмий, родий, палладий и рутений. Правда, количественные соотношения этих элементов в различных породах находятся в зависимости от геологических условий образования месторождений. Например, приведенный порядок расположения элементов соответствует наиболее распространенному типу месторождений платиновых металлов в ультраосновных породах. Для месторождений в основных породах содержание палладия значительно возрастает и достигает равным или даже в 2—3 раза больших количеств по сравнению с платиной. В некоторых пироксеновых перидотитах и серпентинитах (змеевиках), образовавшихся из них, наблюдается значительное содержание иридия и осмия в противовес другим элементам платиновой

группы. Общая характеристика распространенности этих элементов изображена в виде диаграммы на рис. 1.

Кроме тех минеральных образований, в которые элементы платиновой группы входят как существенные составные части, мы имеем другую форму нахождения платиновых металлов в природе, на которую в свое время было обращено внимание еще В. И. Вернадским. Это — форма атомного рассеяния элементов в кристаллических решетках других минералов. Как показали тщательнейшие исследования в этой области И. и В. Ноддак, металлы платиновой группы в ничтожных количествах присутствуют во многих минералах. В частности, платина в состоянии атомного рассеяния находится во многих сульфидах, силикатах

ЭЛЕМЕНТЫ	В ультраосновных породах дуиниты, перидотиты, пикриты и др.	В основных породах габбро, нориты, базальты и др.	В кислых породах граниты, диориты, фельзиты и др.	В продуктах пневматогенного процесса
Ru	—			
Rh	—			
Pd	—	—		
Os	—			—
Ir	—			
Pt	—	—		

Рис. 1. Диаграмма распространенности металлов платиновой группы в различных типах месторождений.

ультраосновных и основных пород. Оказалось также, что такие элементы, как рутений и осмий, в рассеянном состоянии широко распространены в природе. Попытка Ноддаков на основании вновь полученных данных произвести подсчеты среднего содержания в земной коре элементов платиновой группы привела к следующим цифровым данным распространенности этих элементов: $Pt = 5 \cdot 10^{-8}$, $Pd = 5 \cdot 10^{-8}$, $Ir = 1 \cdot 10^{-8}$, $Os = 5 \cdot 10^{-8}$, $Ru = 8,5 \cdot 10^{-8}$. По сравнению с данными, полученными Вашингтоном и Клерком (см. табличку элементов выше), мы имеем значительные расхождения в количественных соотношениях.

Совершенно несомненно, что распределение и концентрации химических элементов подчиняются определенным геохимическим законам, в выявлении которых в последнее время были сделаны большие успехи целым рядом ученых. Как выясняется, большую роль при этом играют как свойства электронных оболочек атомов, так и свойства атомных ядер.

В. М. Гольдшмидт показал, что металлы платиновой группы имеют сидерофильный характер, т. е. принадлежат к элементам, отличаю-

шимся относительно меньшим сродством к кислороду или сере и способным в свободном состоянии или в виде соединений легко растворяться в железном расплаве. Этим объясняется прежде всего преимущественная концентрация их в так называемой железной фазе в момент формирования космических тел. Этим же, повидимому, объясняется преимущественная приуроченность элементов к ультраосновным и основным породам в литосфере, часто совместно с железом, которое входит в состав платиновых минералов в свободном, т. е. самородном состоянии.

О сидерофильном характере металлов платиновой группы говорят данные анализов Джонсон Иоста, который показал, что самородное железо острова из Овифака (Диско в Гренландии), выделившееся среди базальта, содержит платиновых металлов до 4,0 г на тонну, тогда как в самом базальте это содержание колеблется в пределах от 0,02 до 0,24 г/т. Анализы железных метеоритов, произведенные им же, показали содержание платиновых металлов в количестве десятков граммов на тонну. Наоборот, каменные метеориты либо не содержат этих элементов или их содержание не превышает 0,05 г/т.

Таким образом, сидерофильный характер платиновых металлов в значительной мере обуславливает ход процессов миграции этих элементов в период формирования космических тел, заставляя их локализоваться, как сказано, в продуктах железной фазы и богатых магнием магматических породах, главным образом, в парагенезисе с хромшпинелидами и медно-никелевыми сульфидами (пирротин, пентландит и халькопирит).

Небезынтересна и дальнейшая судьба выделившихся в магматический период платиновых минералов. Как показали А. Н. Заварицкий и А. Г. Бетехтин (для Уральских месторождений), при эпимагматических эндогенных процессах, в частности при процессе серпентинизации ультраосновных пород, платиновые минералы претерпевают оригинальный химический метаморфизм. В некоторых минеральных видах самородной платины, не содержащих в твердом растворе большого количества иридия, наблюдается порой значительное химическое обогащение медью, никелем, в меньшей степени железом. В результате этого возникают новые минеральные виды платиновых минералов.

При экзогенных процессах минералообразования, в частности при процессе выветривания, минералы платиновой группы в основной своей массе ведут себя химически стойко и при процессах седиментации, так же как и другие устойчивые минералы металлогенных элементов, подвергаются рассеянию в осадочных породах. В меньшей степени согласно определениям Ф. Габера они выносятся в виде растворов в морскую воду. Изменениям в экзогенных условиях подвергаются лишь богатые палладием минералы платины и золота, на месте которых при выветривании возникает окись палладия (палладит PdO), — единственное пока известное природное соединение элемента платиновой группы с кислородом. При этом изменении платина и золото выпадают, повидимому, в свободном состоянии. Примерно подобному

же превращению подвергаются и богатые медью разновидности самородной платины.

Приведем классификацию минералов платиновой группы.

А. МИНЕРАЛЫ, ПЕРВИЧНО ОТЛОЖЕННЫЕ ПРИ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

И. Группа самородной платины

№ по пор.	Название минерала	Pt	Fe	Ir	Pd	Rh	Au
	а) Подгруппа платиновая						
1	Ферроплатина—(Pt, Fe)	71—79	12—20	0—4,5	0,1—0,5	Незн.	—
2	Поликсен—(Pt, Fe) . .	80—88	5—11	0—7,0	0—0,5	—	—
	б) Подгруппа иридиевая						
3	Иридиевая платина— (Pt, Ir, Fe)	56—77	4—9 ¹	10—28	0—0,3	—	—
4	Платиновый иридий— (Ir, Pt)	20	0	60—77	0	—	—
	в) Подгруппа родиевая						
5	Родистая платина— (Pt, Pd, Rh)	65—67	7—10	0,1—4,4	0,1—1,0	4—5	1,5—2,6
	г) Подгруппа палладиевая						
6	Палладистая платина— (Pt, Pd)	55—91	—	—	7—40	—	0—3
7	Палладий—(Pd)	—	—	—	100	—	—
8	Аллопалладий—(Pd)	—	—	—	100	—	—

II. Группа осмия—рутения

№ по пор.	Название минерала	Os	Ir	Ru	Rh	Pt
9	Осмит—(Os, Ir)	80	10	—	5	—
10	Сысерскит—(Os, Ir)	68	17	9	4,5	0—0,2
11	Рутениевый сысерскит— (Os, Ir, Ru)	24—46	22—36,5	10,2— —18,3	—	4,48—15,7
12	Невьянскит—(Ir, Os)	21—50	47—77	0—0,5	0—7,7	0—5,5
13	Рутениевый невьянскит— (Ir, Os, Ru)	23—48	35—58	4,7—13,5	0—5,7	0—0,6
14	Платиновый невьянскит— (Ir, Os, Pt)	27—37	34—55	5—10	—	10—13
15	Родиевый невьянскит— (Ir, Os, Rh)	17	70	—	11—12	0,1

¹ Данные Fe и Ir во многих трудах (Высоцкого, Вернадского, Вагнера и др.) ошибочно переставлены.

III. Группа сернистых, мышьяковистых и сурьмянистых соединений

№ по пор.	Название минерала	Pt	Pd	Ni	Ru	Os	As	S	Sb
16	Сперрилит — PtAs ₂ . . .	52—56	—	—	—	—	40—41	—	—
17	Лаурит — RuS ₂	—	—	—	65—67	0—3	—	32—33	—
18	Куперит — PtS	80—83	0—4	след.	—	—	—	14—17	—
19	Браггит — (Pt, Pd, Ni)S	58—59	18—21	3—5	—	—	—	17—19	—
20	Стибиопалладинит — Pd ₃ Sb	—	70	—	—	—	—	—	27

IV. Группа золота

№ по пор.	Название минерала	Au	Ag	Pd	Pt	Ir	Rh	Fe
21	Порпецит — (Au, Pd)	86—91	0—4	8—11	0—0,1	—	—	—
22	Платинистое золото — (Au, Pt)	84	3	—	10,5	—	—	0,2
23	Иридийное золото — (Au, Ir) .	62	2	сл.	3,8	30	—	0,6
24	Родит (родистое золото) — (Au, Rh)	88	—	—	—	—	11	—

V. МИНЕРАЛЫ ЭНДОМЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (АУТИГЕННЫЕ)

V. Группа метаморфической платины

№ по пор.	Название минерала	Pt	Ir	Fe	Cu	Ni
25	Купроплатина — (Pt, Fe, Cu)	65—70	65—70	13—17	5—13	0,5—1,5
26	Никелистая платина — (Pt, Fe, Ni) .	73—75	6—7	12—13	2—6	3—4

C. ЭКЗОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ

VI. Группа платины и палладия

№ по пор.	Название минерала	Pt	Pd	Ir	Fe
27	Платина — (Pt)	100	—	—	—
28	Палладистая платина — (Pt, Pd)	73—84	3—21	0—3	сл.
29	Палладий — (Pd)	—	100	—	—
30	Палладит — (PdO)	—	82	—	—

НЕКОТОРЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ДАТЫ

Платина, как металл, была известна человеку еще в глубокой древности под названием белого золота (в Египте, Абиссинии, Испании и др.) или серебра (в Южной Америке). Слово «платина» происходит от испанского слова «plata», что значит серебро, и это название впервые появилось в Южной Америке. Открытие этого минерала приписывается испанскому путе-

шественнику — математику де-Уллоа, который в 1735 г.¹ привез из Бразилии в Европу крупинки по цвету похожего на серебро металла, добытого при промывке россышей с р. Пинто близ г. Попаян. Долгое время этот металл не находил себе полезного применения.

Как химический элемент, платина впервые была признана шведским ученым Шеффером в 1752 г. К началу XIX столетия, в период пышного развития естествоиспытательских наук, в самородной платине были открыты новые химические элементы платиновой группы: палладий (в 1803 г. Волластоном и Шевиниксом), родий (в 1803 г. Волластоном и Фукруа), иридий и осмий (в 1803 г. Смитсон-Теннантом, в осмистом иридии) и, наконец, рутений (в 1841 г. проф. Казанского Университета Клаусом).

По мере знакомства с ценными свойствами платины определилось и промышленное значение этого металла. Платина стала применяться в изготовлении химической посуды, в частности в изготовлении котлов и колб для сернокислотного производства. Аффинаж сырой платины впервые был разработан Волластоном (1812 г.).

В первое время (конец XVIII и начало XIX столетий) промышленная эксплуатация платиновых месторождений производилась путем разработки россышей Экваториальной Колумбии, где добывалось около 200—300 кг в год. Впоследствии, в период 1819—1924 гг. были открыты платиновые россыпи на Урале в целом ряде мест (Верх-Нейвинском, Невьянском, Миасском и др. районах). С этого момента уральская платина на мировом рынке заняла первое место. Первенствующее значение получили чисто-платиновые богатые россыпи в Нижне-Тагильском, Исовском, Кытлымо-Косьвинском и др. районах Среднего и Северного Урала. Наиболее детально Уральские россыпные месторождения платины были изучены Н. К. Высоким и Л. Дюпарком.

В 1892 г. описано и изучено А. А. Иностранцевым и затем академиком А. П. Карпинским первое коренное месторождение платины «Серебряковское» в Нижне-Тагильском дунитовом массиве. Систематическое же изучение коренных месторождений платины проведено при Советской власти (с 1923 года.)

В двадцатых годах текущего столетия были открыты довольно большие по запасам коренные месторождения в Южной Африке среди так называемого Бушвельдского комплекса основных пород. С этого времени южно-африканская платина начинает выступать на платиновом рынке наряду с колумбийской и уральской.

Изучением минералогии платиновых элементов занимались выдающиеся ученые Европы и Советского Союза. Много потрудился в этой области упомянутый выше Волластон, открывший ряд минеральных видов

¹ А по другим данным в 1848 г.

группы платины (палладистую платину, поликсен¹, невьянскит, самородный палладий и платину). К числу первых исследователей самородной платины должны быть также отнесены и русские исследователи: Варвинский, Любарский, Соболевский, Соколов, трудами которых впервые была установлена железистая платина и осмистый иридий из Уральских россыпей (1822—1827 гг.). В 1833 г. известный минералог Брейтгаупт открывает платинистый иридий, а Сванберг через два года (1835 г.) иридистую платину.

Весьма тщательное исследование химического состава и физических свойств природной платины произвел И. Мухин (1842). На основе своих исследований он сделал первую попытку классифицировать накопленный к этому времени материал, относящийся к минералогии платиновых элементов.

Большие заслуги в области тщательного химического анализа принадлежат также Клаусу, проф. Казанского Университета. Им был открыт рутений как химический элемент. Им же установлена была платиновая разновидность невьянскита (1854).

Много работал по вопросам, связанным с платиной, Сен-Клер-Девилль. Ему принадлежит также открытие рутениевого и родиевого невьянскитов (1859).

П. В. Еремеевым впервые детально изучались кристаллографические формы минералов платиновой группы (1879). Материалом для изучения послужила россыпная платина, добытая с Уральских месторождений.

А. А. Иностранцев детально изучал морфологию платиновых выделений в коренных рудах, представленных хромистым железняком (1892, 1895).

В начале XX столетия вопросами химического состава платиновых минералов занимался Е. Гуссак. Им детально изучались палладистые разновидности самородной платины (1904—1906).

Весьма ценными работами в области минералогии и классификации платиновых минералов мы обязаны Вернадскому В. И. (1908—1916). Им дана первая наиболее полная классификация минералов этой группы и сведен весь разрозненный материал по этому вопросу в одно целое. Ясно выдвинуты дальнейшие задачи изучения руд металлов платиновой группы.

Капитальные монографии, касающиеся геологии Уральских месторождений платины, даны тщательным исследователем Н. К. Высоцким. В его трудах: «Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского районов на Урале» (1913) и «Платина и районы ее добычи» (1923—1933) подробнейшим образом изложены результаты его многолетних работ и сведен буквально весь материал по месторождениям платины. Точно так же капитальный труд дан много работавшими по изучению платиноносных

¹ Название дано Гаусманном. См. Handbuch d. Mineral. I Göt., 1813.

массивов Урала Л. Дюпарком и М. Тихонович в виде монографии: «Le platine et les gîtes platinifères de l'Oural et du Monde» (1920).

В последнее время детальное изучение коренных месторождений платины в Нижне-Тагильском районе производилось А. Н. Заварцким и А. Г. Бетехтиным. Ими была открыта медистая разновидность платины (1924). Позднее А. Г. Бетехтиным была установлена никелистая платина (1927). Им же впервые было проведено детальное минераграфическое изучение коренных платиновых руд под микроскопом. Чрезвычайно ценную помощь в изучении химической природы платиновых минералов месторождений Союза оказали химики в лице В. Г. Карпова, С. Ф. Жемчужного, Н. Н. Барабошкина, Н. И. Подкопаева и О. Е. Звягинцева.

По месторождениям Южной Африки за последнее время вышла ценная монография П. А. Вагнера «Месторождения платины и рудники Южной Африки» (1929). В этих месторождениях, как известно, были открыты новые платиновые минералы: куперит, стибнопалладинит и браггит.

ОПИСАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ

А. МИНЕРАЛЫ, ПЕРВИЧНО ОТЛОЖЕННЫЕ ПРИ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

1. ГРУППА САМОРОДНОЙ ПЛАТИНЫ

(Общие замечания)

Из всех минералов, относящихся к этой группе, наибольшим распространением в природе пользуются ферроплатина и ее разновидность — поликсен, а также палладистая платина. Остальные имеют сравнительно ничтожное распространение. Все эти минералы, за исключением аллопалладия и отчасти палладистой платины, генетически связаны с изверженными глубинными породами.

Ферроплатина, поликсен, иридная платина и платинистый иридий образуют месторождения в ультраосновных породах, преимущественно в дунитах и отчасти в пироксенитах и перидотитах. Здесь эти минералы находятся в теснейшей парагенетической ассоциации с хромшпинелидами и другими хромсодержащими минералами: хлоритами, гранатом (уваровитом), везувианом, иногда с редкими сульфидами. Месторождения представляют собой большей частью небольшие гнезда, рассеянные в изверженных породах без какой-либо строго правильной закономерности.

Наиболее крупным представителем месторождений этого типа является Средний и Северный Урал. Здесь мы имеем целый ряд платиноносных выходов ультраосновных пород, тянущихся вдоль Уральского хребта: массивы Денежкина камня, Гладкой сопки, Конжаковский массив, Кытлымо-Косьвинские массивы, массивы Исовского района, Баранчинский, Нижне-Тагильский и Сысертский. Кроме того, платиноносные массивы ультраосновных пород известны в Канаде (система р. Тюламин), Экваториальной Колумбии, Новой Зеландии, в Испании (Сиерра-де-Ронда), Абиссинии и в Южной Африке в виде гортонолитовых «трубок» (pipes) среди Бушвельдского комплекса основных пород.

Палладистая платина, а также, повидимому, и родистая платина образуют промышленные концентрации в основных

породах: габбро, поритах, базальтах. Ассоциируются они здесь обычно с сульфидами: пирротинном, пентландитом и халькопиритом, а также с сульфидами и арсенидами элементов платиновой группы: сперрилитом, куперитом, браггитом и стибнопалладинитом (Южная Африка). Месторождения представляют собой обычно линзообразные тела, богатые сульфидами, располагающиеся большей частью у постели изверженных массивов.

Наибольшие запасы палладистой платины представлены в норитовой зоне Бушвельдского комплекса изверженных пород в Южной Африке. Затем следует отметить известный массив основных пород Седбери, массивы так называемых «Сибирских трапш» (в Восточной Сибири), к которым принадлежит Норильское месторождение в «пирротиновых диабазах» и др.

Что же касается аллопалладия и частично палладистой платины, то эти минералы были встречены в типичных гидротермальных месторождениях. Для аллопалладия известно месторождение на Гарце, в двух рудниках, где он ассоциируется с самородным золотом, клаусталлитом (PbSe), доломитом и кальцитом. Палладистая платина была встречена в кварцево-халцедоновой жиле Вотерберга (Южная Африка) вместе с железным блеском, хромовой слюдкой и хлоритами.

Условия нахождения самородного палладия в коренных рудах до сих пор неизвестны.

Минералы, входящие в рассматриваемую группу, представляют собой твердые растворы ряда металлов: Pt, Fe, Ir, Pd и Rh. В ничтожных количествах могут присутствовать также: Au, Ag, Pb, Tl, Mn, Ni, Co, а также Ru и Os. Весьма возможно, что присутствие некоторых из числа последних элементов обусловлено включениями в самородную платину каких-либо растворимых при анализе в царской водке минералов. Очень нередки, кроме того, включения различных минералов из группы осмия—рутения, хромшпинелидов, оливина, пироксенов, хром-граната, газов (кислород, азот, может быть, водород) и др.

В зависимости от преобладающих содержаний тех или иных главных металлов среди группы самородной платины различают подгруппы (см. таблицу классификации минералов): а) платиновую, когда содержание прочих платиновых металлов не превышает нескольких единиц процентов; в) иридиевую, когда содержание иридия весьма значительно по сравнению со средними данными анализов самородной платины; с) родиевую с ненормальным содержанием родия и d) палладиевую, когда содержание палладия является необычным.

1. Ферроплатина (Pt, Fe)¹

Кристаллографическое описание

Ферроплатина, а также и поликсен принадлежат к кубической системе, повидимому гексатетраэдрическому классу симметрии. Кристаллы

¹ Впервые установлена Соболевским и Варвинским в 1827 г.

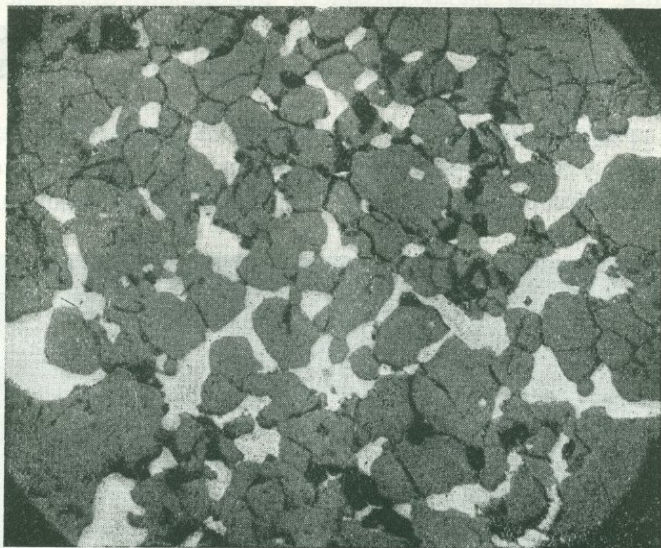


Рис. 2. Ксероморфизм самородной платины (белое) по отношению к хромшпинелиду (серое). Черное — пустоты и серпентин. В зернах хромшпинелида иногда наблюдаются кристаллики той же платины. Полированный шлиф. Нижне-Тагильский дунитовый массив. Месторождение № 4—01 (в крутом) логу. Увеличено в 10 раз.

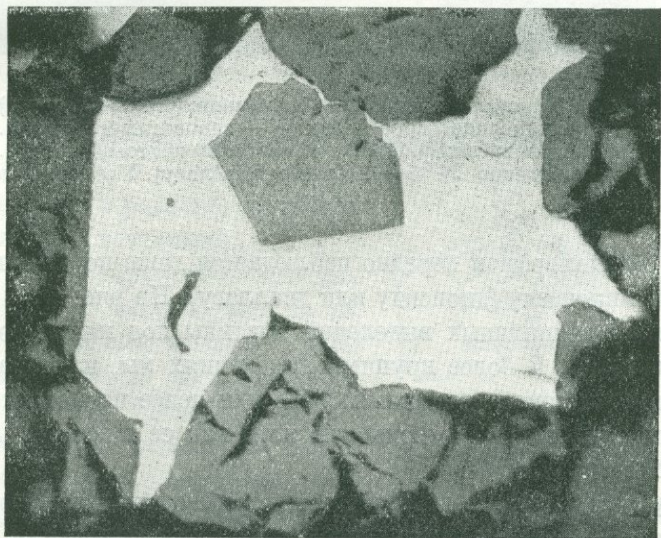
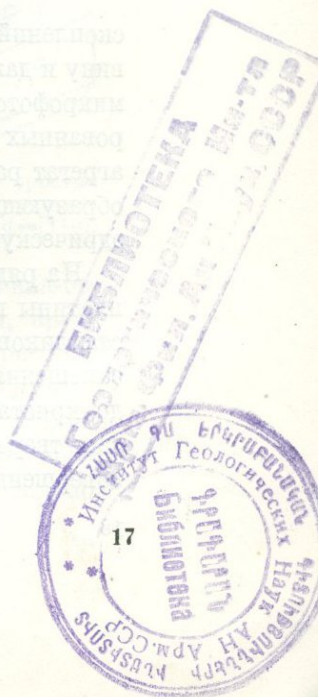


Рис. 3. Ксероморфизм самородной платины (белое) по отношению к хромшпинелиду (серое). В правом верхнем углу среди платины заметно неправильной формы рельефное зерно иридисной платины. Черное — пустоты и серпентин. Полированный шлиф. Нижне-Тагильский дунитовый массив. Месторождение № 5—01 (Госшахта). Увеличено в 100 раз.



2438
2370

вообще редки, причем наблюдающиеся кристаллы либо несовершенны, либо деформированы и количества граней часто не хватает по сравнению с тем, что должно было бы соответствовать симметрии; поэтому обычно не бывает наличия трех осей L^4 .

Вообще следует заметить, что главная масса самородной платины, под которой подразумевается как ферроплатина, так и поликсен, выделяется в виде ксеноморфных зерен и агрегатов среди хромшпинелидовых



Рис. 4. Кристаллик платины (белый многоугольник слева) в хромшпинелиде (серое). Черное — серпентин и пустоты. Полированный шлиф. Нижне-Тагильский унитовый массив. Месторождение № 4—02 (в Крутом логу). Увеличено в 100 раз.

скоплений. Ксеноморфизм нередко наблюдается даже по отношению к оливину и даже пироксену (диопсиду или диаллагу). На рис. 2 и 3 изображены микрофотографии типичных выделений платины под микроскопом в полированных шлифах. В более крупных выделениях мы, как правило, имеем агрегат различно ориентированных более или менее изометрических зерен, образующих панидиоморфнозернистую или, как ее иначе называют, полиэдрическую структуру.

На ряду с этим, правда изредка, можно наблюдать и идиоморфные зерна платины по отношению к хромшпинелидам и даже включения мелких кристалликов внутри зерен хромшпинелидов, повидимому, как результат их замещения в форме метакристаллов, а не как более ранние выделения до кристаллизации хромшпинелидов. По отношению к химическим реагентам, твердости и прочим физическим признакам эти кристаллики являются совершенно идентичными ксеноморфной платине, выделяющейся тут же.

Явления замещения или коррозии платиной хромшпинелидов, как показало минераграфическое исследование, чрезвычайно широко развиты. Включения кристалликов в хромшпинелиде можно видеть на рис. 2,

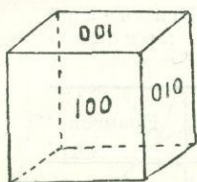


Рис. 5. Правильная кубическая форма кристалла самородной платины.

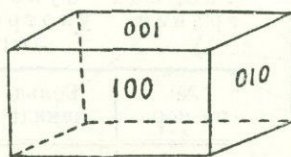


Рис. 6. «Деформированный» кубический кристалл самородной платины.

а на рис. 4 подобная картина изображена при большем увеличении. Нередко эти включения представлены правильными кубическими формами, в чем можно было убедиться при систематическом сошлифовывании по-

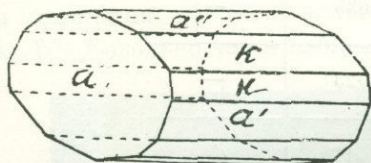


Рис. 7. Комбинация куба с пирамидальным кубом. $a=(100)$; $k=(210)$

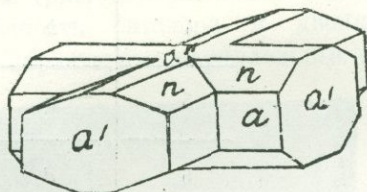


Рис. 8. Крестообразный двойник прорастания. $a=(100)$; $n=(310)$.

верхности полированных шлифов. В тех случаях, когда плоскость шлифа срезала кристаллики перпендикулярно к тройной оси, можно было при сошлифовывании постепенно проследить, как треугольные сечения кубика платины, увеличиваясь в площади, переходили в форму шестиугольника и затем, уменьшаясь в размере, снова сменялись треугольными сечениями.

Кристаллография самородной платины в свое время детально была изучена П. В. Еремеевым, исследовавшим свыше 4 килограммов шлиховой уральской платины, из которой ему удалось выделить целый ряд кристаллов самородной платины и иридия. По его данным кристаллы кубической формы (рис. 5) не составляют большой редкости, но часто они как-бы деформированы и имеют вытянутость в том или ином направлении, представляя таким образом формы прямоугольных параллелепипедов (рис. 6). Кроме того, нередко некоторые кристаллы, найденные П. В. Еремеевым, несмотря на то, что гониометрические измерения дают числа вполне согласные с правильной, т. е. кубической системой, имеют благодаря комбинациям ромбический характер (рис. 7, 8 и 9). При этом бывает обильно

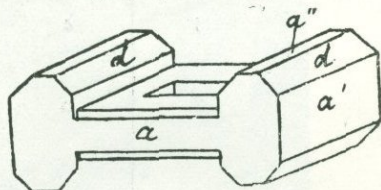


Рис. 9. Параллельный сросток кубических вытянутых кристаллов платины. $a=(100)$; $d=(110)$.

развита комбинационная штриховка на гранях, затрудняющая измерение кристаллов. Господствующими гранями обычно бывают (100). Кроме того присутствуют (110), (210), (310) и некоторые другие.

Таблица буквенных обозначений граней, употребляемых кристаллографами

№ по пор.	Гольдшмидт	Символы	Еремеев
1	<i>c</i>	001	<i>a</i>
2	<i>a</i>	013	<i>n</i>
3	<i>e</i>	012	<i>k</i>
4	<i>h</i>	035	—
5	<i>b</i>	023	—
6	<i>d</i>	011	<i>d</i>
7	<i>p</i>	111	<i>o</i>

Таблица углов по Гольдшмидту

№ по пор.	Букв. обозн.	Символы	φ	ρ
1	<i>c</i>	{ 001 010	—	0°00
			0°00	90°00
2	<i>a</i>	{ 013 031 130	0°00	18°26
			0°00	71°34
			18°29	90°00
3	<i>e</i>	{ 012 021 120	0°00	26°34
			0°00	63°26
			26°34	90°00
4	<i>h</i>	{ 035 058 350	0°00	30°58
			0°00	59°02
			30°58	90°00
5	<i>b</i>	{ 023 032 230	0°00	33°41
			0°00	56°18
			33°41	90°00
6	<i>d</i>	{ 011 110	0°00	45°00
			45°00	90°00
7	<i>p</i>	111	45°00	54°44

Двойники кристаллов самородной платины наблюдаются, причем преимущественно развиты бывают двойники прорастания по (100). Образование двойников срастания свойственно кристаллам как кубического

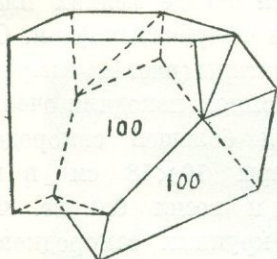


Рис. 10. Двойник кубических кристаллов.

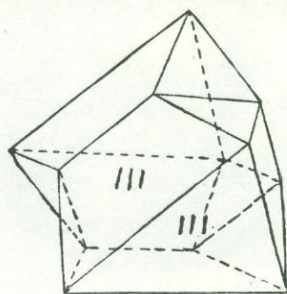


Рис. 11. Двойник октаэдрических кристаллов.

(рис. 10), так и октаэдрического облика (рис. 11). Плоскостью двойникового срастания обычно является плоскость октаэдра и двойниковой осью: L^3 . Довольно часто наблюдаются характерные параллельные сrostки

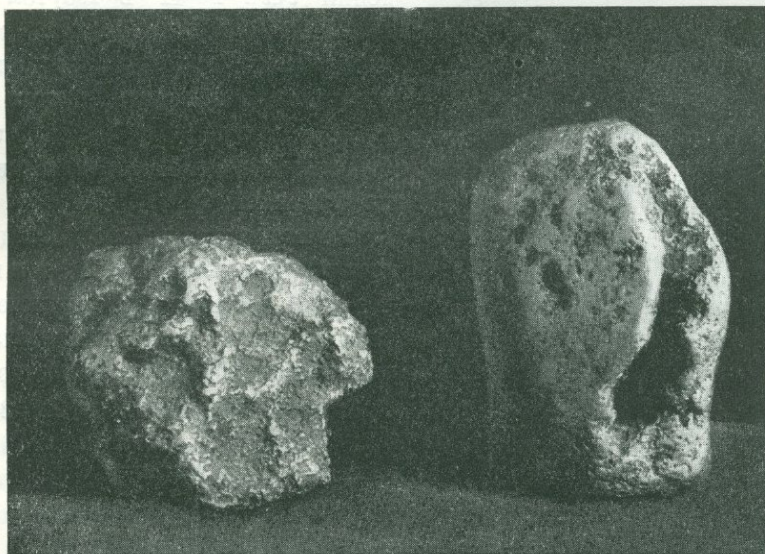


Рис. 12. Самородки из Нижне-Тагильских россыпей, найденные в 1926 г. Слева — малоокатанный самородок. Справа — более сильно окатанный самородок с полостью внутри самородка. Натуральная величина.

с симметричной внешней формой (рис. - 9). В коренных месторождениях платины в Нижне-Тагильском дунитовом массиве встречались также сrostки с ассиметрической внешней формой (Сыров лог, месторождение № 3—45).

В россыпях самородная платина встречается обычно в виде зерен различных размеров и с различной степенью окатанности, в зависимости от



Рис. 13. Самородок из коренного месторождения № 4—41 в Крутом логу, снятый с забоя. Белое — налеты карбонатов. Вес 427,5 г. Натуральная величина.

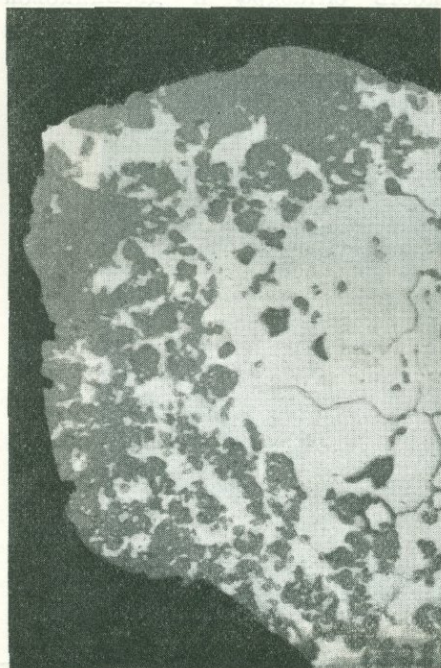


Рис. 14. Распиленный и пришлифованный самородок оттуда же. Белое — платина. Серое — хромшпинелиды. На снимке изображена половина самородка. Увеличено в 4 раза.

положения данной россыши по отношению к материнским платиносносным породам. В аллювиальных россыях зерна платины наблюдаются в виде мелких пластинчатых и чешуйчатых форм. Самородки платины (рис. 12) в первое время в россыях находили очень часто. Самый большой самородок имел размеры 10×18 см в поперечнике и весил 9,6 кг. Фотографии крупных самородков приведены в капитальных трудах Н.К. Висоцкого и Л. Дюпарка. Самородки встречались и при разработке коренных месторождений платины. Наиболее крупный самородок, найденный в месторождении №№ 4—41 в Крутом логу, весил 427,5 г (рис. 13). На рис. 14 изображена половина распиленного и приполированного другого самородка, полученного из того же месторождения при обогащении руды на фабрике.

Рентгенометрическое исследование самородной платины Бэннистером Ф. показало, что кристаллическая решетка этого минерала принадлежит к типу центрогранного куба (рис. 15). Ребро куба $= 3,91 \text{ \AA}$.

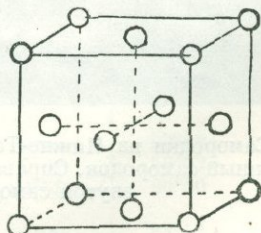


Рис. 15. Кристаллическая структура самородной платины.

При этом рентгенограмма, полученная методом кристаллообращения, показывает слабые пятнышки для плоскостей со смешанными индексами. Воз-

можно, что это обусловлено участием в решетке атомов железа. Для γ = железа, кристаллизующегося при температуре около 1000° и имеющего решетку того же центрогранного куба, ребро куба $= 3,63 \text{ \AA}$. Ребро куба для чистой платины, полученной путем проковки хлороплатината аммония, равнялось $= 3,93 \text{ \AA}$.

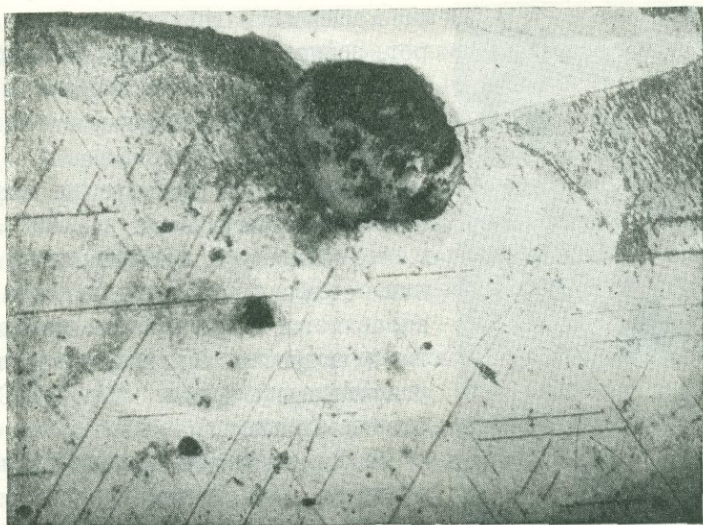


Рис. 16. Спайность платины по (111), выявленная в результате травления царской водкой. На снимке поместились части двух смежных зерен платинового агрегата: одно — белое, не успевшее еще протравиться вверху снимка, и другое — протравившееся, занимающее главную площадь снимка. Небольшое серое зерно с черными пятнами — хромспинеллид, расположенный на границе двух платиновых зерен. Полированный шлиф. Месторождение № 4—41 в Крутом логу Нижне-Тагильского дунитового массива. Увеличено в 100 раз.

Физические свойства

Твердость: $4-4\frac{1}{2}$. Блеск металлический. Цвет от серебринобелого до стальносерого. Черта металлическая. Непрозрачен.

Спайностью зерна ферроплатины не обладают. Однако, путем травления полированных зерен царской водкой часто обнаруживают спайность по (111) (рис. 16). Излом неровный, крючковатый. Ферроплатина обладает относительной хрупкостью. Полировку принимает хорошо. Удельный вес колеблется от 14 до 19. Подмечена связь пониженного удельного веса с пустотами, занятыми природными газами, а также включениями минералов (рис. 17). Согласно С. Ф. Жемчужному количество пустот в изученных образцах уральской платины колебалось по объему около 6,7—13%. Чистая сплавленная платина имеет удельный вес 21,48—21,50, а после холодной проковки увеличивается даже до 23.

Характерным свойством ферроплатины является ее магнитность. Встречались зерна и самородки, обладающие даже полярным магнетизмом.

Обычно магнитность склонны были приписывать присутствию железа в самородной платине. Однако, опыты Д о б р э и тщательные анализы И. М у х и н а показали, что это не так. Часто платина приобретала магнитные свойства после давления или проковки и теряла их после прокаливания. Кроме того, были обнаружены зерна ферроплатины (характеризующиеся

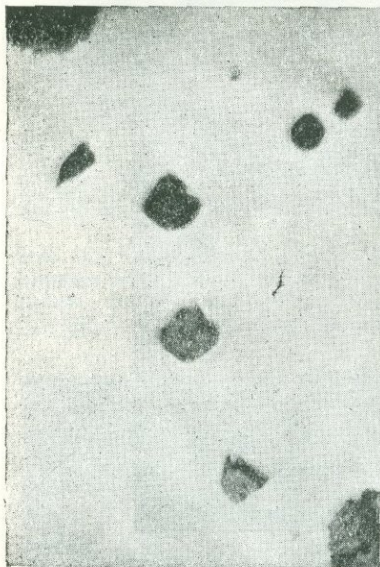


Рис. 17. Включения минералов и природных газов в самородной платине. Черные пятна (вверху снимка) — пустоты, в которых были заключены природные газы. Два зерна темносерого цвета (в центре снимка) — кристаллики оливина. Зерно серого цвета (внизу снимка) — кристалл хромшпинелида. Белое — платина. Полированный шлиф. Коренное месторождение в Нижне-Тагильском дунитовом массиве. Увеличено в 100 раз.

как таковые по химическому анализу), не имеющие магнитных свойств и, наоборот, зерна с значительно меньшим содержанием железа, относящиеся по составу к поликсеновой разности, обладали магнитными свойствами.

Коэффициент расширения платины невелик: при нагревании до $100^{\circ} = 0,000884$, т. е. близок к коэффициенту расширения стекла. Поэтому платина хорошо вплавляется в стеклянные изделия. Электропроводность ее равна 14,4 (если электропроводность ртути при 0°C принять равной единице).

Перед паяльной трубкой платина не плавится. При белом калиении становится мягкой и легко сваривается при проковке. В пламени гремучего газа и в электрической печи легко сплавляется. При охлаждении расплавленная платина обладает способностью поглощать газы (кислород) и вспучиваться.

Оптические свойства ферроплатины можно свести к следующему. Цвет минерала в отраженном свете белый. Коэффициент абсорбции для чистой платины = 2,06 (для серебра = 20). Способность отражения для Na — света = 70,1% (для серебра = 95,5%). Коэффициент преломления

$n_d = 4,28$. Измерение абсолютной отражательной способности самородной платины из Нижне-Тагильского района, произведенное Фриком с помощью фотометрокуляра, дало следующие цифры (в процентах): зеленый свет — 65; оранжевый свет — 65; красный свет — 65.

Химическая характеристика

Химический состав ферроплатины из Нижне-Тагильских россыпей в общем следующий: ¹

Pt	Fe	Pd	Ir	Rh	Cu	Ni
73—81(78);	12—20(15);	0,2—0,5(0,25);	0—4(2);	0,5—3,8(0,6);	0,3—4(3)%;	Сл.—0,1

¹ В скобках дано среднее содержание по анализам.

Здесь отношение Pt : Fe выражается в общем в следующих атомных соотношениях: PtFe до Pt₂Fe. Как увидим ниже, физико-химические свойства ферроплатины очень близко отвечают изученному в искусственных сплавах химическому соединению переменного состава: Pt Fe, которое возникает в результате превращения первоначального твердого раствора (γ -раствора в β -раствор по И с а а к у и Т а м м а н у). Может быть этим обстоятельством, т. е. наличием химического соединения, и объясняется отчасти тот факт, что платина, выделяясь в хромистых железняках, т. е. в среде богатой железом (нередко с содержанием до 30% металлического железа), все же содержит ограниченное количество этого металла.

Деление ферроплатины, как минерального вида на разновидности: α , содержащую иридий, и β , не содержащую его, едва ли имеет теперь под собой серьезное основание, так как без содержания иридия ферроплатина, повидимому, встречается редко, и кроме того по анализам можно подобрать все переходные разности к ферроплатине, содержащей иридий в единицах процентов.

Таким образом, сумма платиновых металлов в ферроплатине обычно равна 80—82%. Что касается содержания меди, то, как будет указано ниже, главная масса ее не характеризует первичного состава ферроплатины. Она приобретает платиной при процессе серпентинизации передотитовых пород.

Следует отметить, что, по имеющимся анализам к о р е н н о й платины с различных месторождений Нижне-Тагильского района на Урале, содержание железа в первичной платине, т. е. не подвергшейся метаморфизму, ни разу не превышало 12—13%. Это явление кажется несколько непонятным, так как анализы россышной платины из этого района, наоборот, характеризовались в основной своей массе повышенным содержанием железа (до 16—17 и даже больше %). Это тем более странно, что в этой россышной платине, как показали минераграфические исследования, вторичная платина (медистая и никелистая, с большим содержанием железа) часто отсутствует. Благодаря тому, что эта вторичная платина в коренных рудах обычно развивается по периферии первичных платиновых зерен, при движении в россыпи она, повидимому, истирается в первую очередь. Не происходит ли здесь частичного обогащения платины железом в россыпи (может быть отчасти за счет выноса меди и никеля при окислении)?

По отношению к химическим реагентам самородная платина является весьма устойчивой. Азотная, соляная, серная кислоты не действуют на нее. Лишь в царской водке и в смеси соляной кислоты с хромовой (CrO₃ 50% раствор) она растворяется, образуя хлористую платину. Кроме того, на платину действуют хлор, бром, иод и органические вещества, содержащие фосфор. При нагревании до 150—180° она может растворяться и в соляной кислоте, но только тогда когда мы имеем ее в губчатом виде или в виде тонкой фольги. Точно также, в присутствии перекиси водорода она способна растворяться во многих минеральных кислотах, а при высокой температуре

ее растворяют сплавленные щелочи и щелочные земли, а также сульфиды щелочей, переводящие ее в сернистое соединение. Хлорноватокислый калий, хлористый калий, перекись натрия и персульфат натрия также действуют на платину. В незначительных количествах платина способна растворяться в растворах хлористых соединений Na, K, Ca, Mg, Fe и Cu, лучше в присутствии перекиси марганца и при повышенной температуре; в иодистом калии, в водных сульфидных растворах (например, натрия) при высоких температурах и давлении, наконец, в буре и фосфорной соли при сплавлении, но только в тонко измельченном состоянии.

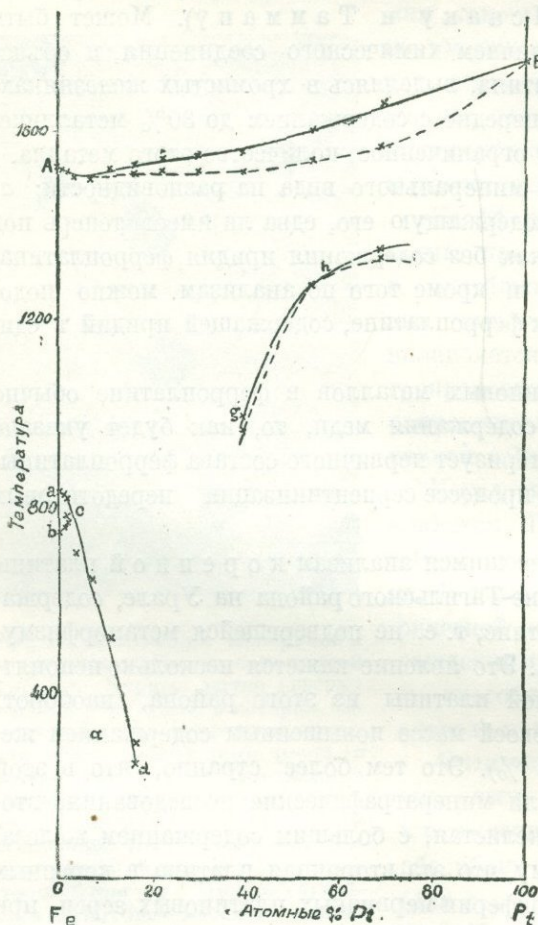


Рис. 18. Кривая *AB* плавкости системы: железо-платина. Кривая *abcd* — кривая превращения богатых железом сплавов. Кривая *gh* — кривая превращения γ -раствора в β -раствор.

Целый ряд металлов: золото, медь, цинк, свинец, олово, алюминий, натрий, магний, сурьма, мышьяк, фосфор, кремний и др. — с платиной дают легкоплавкие сплавы. В присутствии амальгамы натрия губчатая платина легко дает амальгаму. Шлиховая платина легко амальгамируется с ртутью в серной кислоте, с медным купоросом в присутствии цинка.

Водород в присутствии губчатой платины при встрече с кислородом резко повышает температуру самой платины, накаляет ее и сам загорается.

Все эти соединения платины, однако, очень неустойчивы. Из них она легко восстанавливается в металлическом виде с помощью хлористого олова, щавелевой кислоты, гидроокислов железа, уксуснокислой соли железа, хлористого аммония и др. Повидимому, восстанавливают платину и органические вещества, карбонаты и серпентин. Наиболее устойчивыми являются хлороплатинаты.

В процессе тончайшего истирания частиц платины в россыпях весьма возможно, что она дает грубую дисперсию или даже переходит в коллоидальное состояние, из которого, как показывают опыты, на воздухе может выпасть в виде черни.

В процессе тончайшего истирания частиц платины в россыпях весьма возможно, что она дает грубую дисперсию или даже переходит в коллоидальное состояние, из которого, как показывают опыты, на воздухе может выпасть в виде черни.

На этом свойстве построены автоматические газозажигатели («водородное огниво»).

При поисково-разведочных работах на платину с целью ее диагностики можно пользоваться растворением зерен в царской водке и осаждением хлороплатината аммония хлористым аммонием. В присутствии платины выпадает желтый осадок. Для большей убедительности отобранные зернышки следует растворить в царской водке, затем выпаривать досуха 2—3 раза (растворяя каждый раз в соляной кислоте). После исчезновения паров азотной кислоты при прокаливании (но не выше 150°) довести последний раз раствор до густой сиропообразной массы и растворить последнюю в дистиллированной воде. Прибавив несколько капель серной кислоты и немного кристаллического иодистого калия, мы получим в случае присутствия платины характерный виннокрасный цвет (при большом содержании) или розоватокрасный (при малом содержании Pt).

Физико-химическая характеристика

Точка плавления чистой платины — 1755°. Характерной является ее летучесть при 1500° и кристаллизация в виде мельчайших октаэдров на холодных стенках сосудов. Сплавы с железом имеют пониженные точки плавления, которые снижаются до 1500° (в сплавах с содержанием платины 20 вес. %).

Поскольку ферроплатина по данным химических и минераграфических исследований представляет собой твердый раствор, главным образом, платины с железом, постольку небезынтересно коснуться в двух словах исследований сплавов платины с железом, впервые проведенных И с а а к о м и Т а м м а н о м (в 1907 г.) и затем Н е м и л о в ы м В. А. (в 1928 г.).

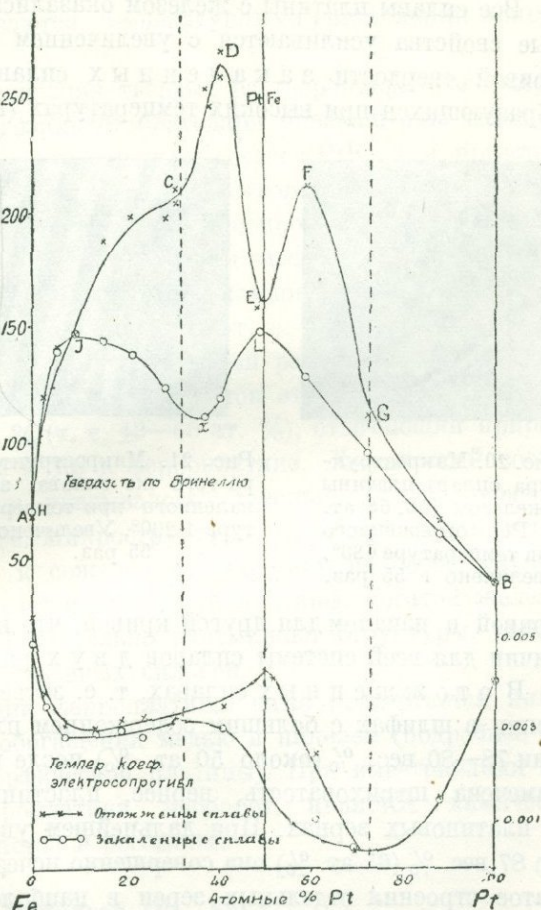


Рис. 19. Кривые твердостей по Бринеллю и температурных коэффициентов электросопротивления для закаленных и отожженных сплавов системы: железо-платина.

Кривая плавкости, полученная Исааком и Тамманом, изображена на рис. 18 (в пересчете на атомные % платины). Здесь кривая *AB* представляет собой кривую плавкости; кривая *abcd* — кривую превращения, обусловленную превращениями железа в твердом состоянии: кривая *gh* — кривую превращения богатого платиной γ -раствора в β -раствор также в твердом виде.

Все сплавы платины с железом оказались магнитными, причем магнитные свойства усиливаются с увеличением содержания железа. Изучение кривой твердости закаленных сплавов, т. е. твердых растворов, образующихся при высоких температурах (выше кривой *gh*), показало, что



Рис. 20. Микроструктура сплава платины с железом (48,68 ат. % Pt), отожженного при температуре 680°. Увеличено в 55 раз.

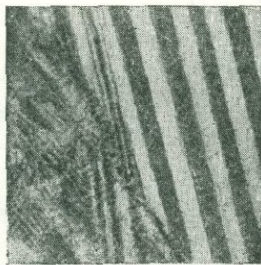


Рис. 21. Микроструктура того же сплава, закаленного при температуре 1200°. Увеличено в 55 раз.

платина и железо образуют два твердых раствора с разрывом в интервале 35—40 ат. % (т. е. 65—69 вес. %) платины. По данным В. А. Немилова, в этом интервале как кривая твердости, так и кривая температурных коэффициентов электросопротивления закаленных сплавов (рис. 19) дают характерный перегиб, являющийся концом для одной

кривой и началом для другой кривой, что как раз и свидетельствует о наличии для всей системы сплавов двух рядов твердых растворов.

В отожженных сплавах, т. е. затвердевших при медленном охлаждении в шлифах с большим содержанием платины, особенно при содержании 78—80 вес. % (около 50 ат. %) после протравы царской водкой была замечена штриховатость, вернее, пластинчатость отдельных неделимых в платиновых зернах. При дальнейшем увеличении содержания платины до 87 вес. % (65 ат. %) она совершенно исчезает. Эти пластинчатое и решетчатое строения отдельных зерен в наиболее ярко выраженных случаях имеют характер типичнейших полисинтетических двойников. По мнению В. А. Немилова, она обязана распаду твердых растворов. Правда, изображенные на его микрофотографиях рисунки структур (рис. 20 и 21) не совсем похожи на те, которые мы привыкли видеть в природных и лабораторно полученных типичных структурах распада твердых растворов в рудных минеральных образованиях. Они говорят скорее о перекристаллизации твердого раствора.

Как показывает анализ кривых твердости и температурных коэффициентов электросопротивления оттоженных сплавов, мы здесь имеем сингулярные точки, отвечающие составу с 50 ат. % (или 77,7 вес. %) платины. Эти точки свидетельствуют об образовании при медленном охлаждении

химического соединения PtFe переменного состава. Характерно, что образование этой твердой фазы происходит в сплавах с содержанием платины в пределах от 35—40 ат. % до 65—70 ат. % (т. е. в пределах от 65—69 вес. % до 87—89 вес. %). Микроструктуры этих отожженных сплавов платины с железом после протравы царской водкой как раз и обнаруживают упомянутые выше полисинтетически двойниковое строение. Эти превращения обуславливаются температурными остановками кривой gh (рис. 18).

Следовательно, перекристаллизация твердых растворов платины с железом на указанном интервале возникает благодаря превращению твердого раствора в химическое соединение переменного состава PtFe, т. е. представляющего собой по существу также твердый раствор, но в ограниченных пределах. Возникновение этой твердой фазы сопровождается обильным двойникованием. Таким образом, по существу мы здесь не имеем типичного распада твердого раствора на два (или более) компонента, а только лишь перекристаллизацию вследствие аллотропии, т. е. превращения одной разновидности в другую с иной кристаллической решеткой.

Для нас представляет особый интерес участок этой системы: Pt — Fe в интервале между 76—84 вес. % (т. е. 49—60 ат. %), отвечающий природному соотношению между Pt и Fe в ферроплатине. Химический состав природной ферроплатины, как указывалось, довольно близко отвечает химическому соединению: PtFe. Микроструктура первичной (не метаморфизованной) ферроплатины, к сожалению, ни разу не была изучена под микроскопом. Что же касается вторичной платины, богатой железом и медью, то структуры ее действительно напоминают структуры, наблюдавшиеся при изучении искусственных сплавов.

В процессе серпентинизации ферроплатина легко подвергается химическим изменениям за счет обогащения медью и никелем (подробнее см. об этом ниже: группа метаморфической платины). При выветривании коренных месторождений, ферроплатина, наоборот, является химически стойким минералом и накапливается в россыпях.

2. Поликсен (Pt, Fe)¹

По существу поликсен представляет собой как бы разновидность ферроплатины, менее богатую Fe, а следовательно, с большим содержанием Pt. Отсюда все, что выше сказано было про ферроплатину в отношении ее физических и химических свойств, почти целиком относится и к поликсену.

Химический состав поликсена в общем можно выразить следующим образом:²

Pt	Fe	Pd	Ir	Rh	Cu	Ni
80—88(82);	5—11(8);	0,1—0,5(0,2);	0—7(3);	0,1—0,3(0,2);	0—0,6(0,2);	следы

¹ Название дано Гаусманном в отличие от чистой платины, описанной В. О. Ластоном.

² В скобках приведены данные среднего содержания металлов.

Здесь соотношение между платиной и железом обычно выражается атомным соотношением: $Fe Pt_3$ до $Fe_2 Pt_3$, т. е. поликсен характеризуется значительно меньшим содержанием железа.

Стало быть, в поликсене сумма платиновых металлов по сравнению

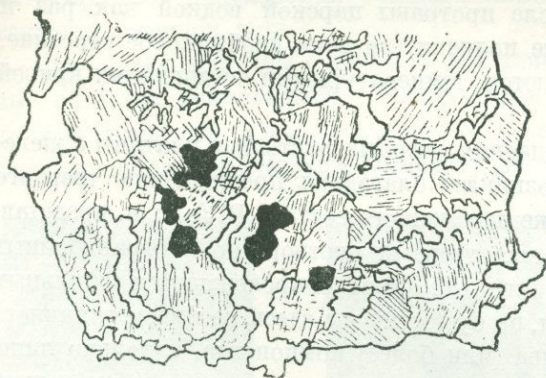


Рис. 22. Выделение поликсена в виде цемента среди диоксида. Белое — платина; зерна со штриховкой — диоксид; черное — зерна хромшпинелида (?). Прозрачный шлиф с рч. Гусевна в восточных предгорьях г. Качканара. По В. С. Соколову.

с ферроплатиной значительно выше и достигает цифры 90—95%.

Как показали последние химические исследования Нижне-Тагильских коренных платиновых месторождений, между этими двумя минеральными видами самородной платины, т. е. между ферроплатиной и поликсом, нельзя по химическому составу провести резкой границы. Существуют постепенные переходы между этими минеральными видами.

Точно так же, как и для ферроплатины, для поликсена нет смысла выделять разновидности α , содержащую Ir, и β — не содержащую его, ибо с одной стороны содержание иридия не превышает единиц процентов, а с другой — невозможно провести резкой границы между ними в содержании этого элемента в известных до сих пор представителях этого минерального вида.

До последнего времени были склонны приурочивать месторождения поликсовой разновидности самородной платины к пироксенитовым породам уральских габбро-перидотитовых массивов (районы Баранчинский с рч. Шумихой, Каменкой, Бельничной, Качканарский с рч. Б. Гусевкой, Мокрой, Выйский, Нясьминский и др.). Здесь самородная платина встречается в виде ксеноморфных зерен по отношению к диоксиду или диаллагу (рис. 22 и 23).

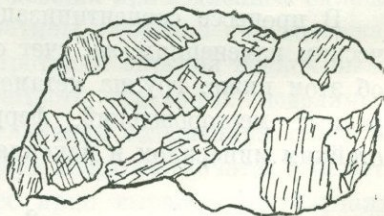


Рис. 23. Маленький самородок платины, в котором она является цементом между зернами диаллага (заштрихованы). По Дюпарк у.

Однако, изучение коренных месторождений платины в Нижне-Тагильском округе показало, что поликсовая разновидность самородной платины свойственна и дунитовым породам, а также представлена в большинстве месторождений хромистых железняков.

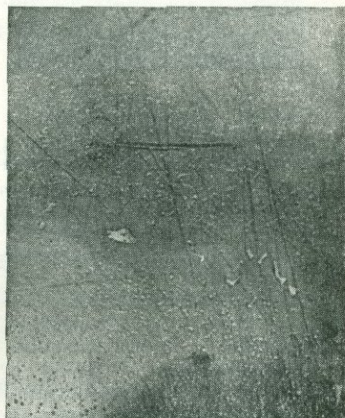
Когда, благодаря фракционному химическому анализу, удалось точно разобраться в химической природе различных платиновых минералов,

характеризующих так называемую «самородную платину», тогда выяснилось, что часть железа и почти вся медь в этой «самородной платине» являются привнесенными позднее, т. е. во время процесса серпентинизации перидотитовых пород. Химические анализы коренной первичной платины показывают нередко значительно пониженное содержание Fe, и, наоборот, повышенное Pt, т. е. по химическому составу она отвечает поликсеновой разности. В результате исследований у автора создалось впечатление, что для Нижне-Тагильских коренных месторождений на Урале, для которых считалось наиболее характерным распространение ферроплатины, все же больше других распространена поликсеновая разность.

В искусственных сплавах системы платина-железо поликсену отвечает интервал 65—98 ат. % (или 87—95 вес. %). Как было указано при разборе кривых твердости и температурных коэффициентов сопротивления, для этого интервала при медленном остывании мы уже не имеем явлений превращения первоначально получающихся твердых растворов в химическое соединение: PtFe. Микроструктура как литых, или закаленных сплавов, так и отожженных показывает однородное зернистое строение, подтверждающее отсутствие каких-либо явлений превращения первоначально образованного раствора при остывании.

Это обстоятельство дает некоторое основание для отличия поликсеновой разновидности от ферроплатины, несмотря на то, что все остальные физические и химические свойства у этих минеральных видов почти общие.

При процессах озмеевикования поликсеновая разность самородной платины сравнительно легко подвергается изменению, обусловливаемому привнесом в платиновую массу, как уже указано, главным образом, меди и отчасти железа. При выветривании она химически устойчива.



3. Иридная платина (Pt, Ir, Fe)¹

Кристаллографическое описание

Система кубическая, класс симметрии точно неизвестен, кристаллы наблюдались крайне редко и ни разу не подвергались гониометрическому изучению. Существуют упоминания, что иридная платина иногда встречалась в виде неясно образованных кубических кристаллов размерами до 1 мм в поперечнике.

Рис. 24. Иридная платина в виде эмульсионной вкрапленности в основной массе самородной платины. Полированный шлиф. Месторождение № 87 в Александровском логу Нижне-Тагильского дунитового массива. Увеличено в 200 раз.

¹ Впервые установлена Сванбергом в 1833 г.

Как показывает минераграфическое изучение самородной платины, богатой содержанием иридия, иридистая платина находится часто в виде мельчайших включений в основной массе платины (фиг. 24). Размеры этих включений измеряются тысячными и сотыми долями процента, реже больше. Форма этих включений, как правило, округленная, иногда пластинчатоподобная или жилкоподобная (рис. 25), реже неправильная (рис. 3 и 26). Очень редко можно было встретить иридистую платину в виде кристал-

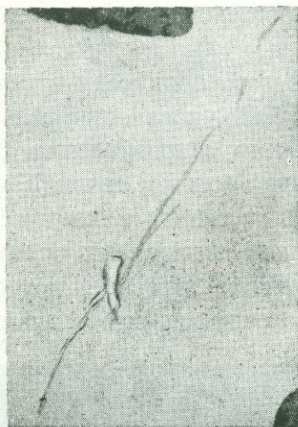


Рис 25. Выделение ириди-
стой платины в виде зерна и
на подобие жилки в массе
самородной платины. Благо-
даря высокой твердости ири-
дистая платина рельефно
выступает на полированной
поверхности платины без
химического травления. Се-
рое (по окраинам микрофо-
тографии) — хромшпинелид.
Месторождение № 4—42 в
Крутом логу Нижне-Тагиль-
ского округа. Увеличено в
120 раз.

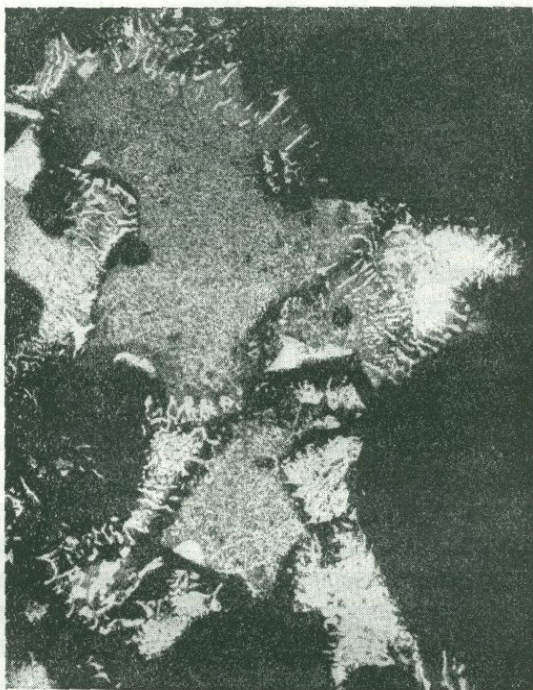


Рис. 26. Эвтектоидная структура иридиистой платины (?) (белые неправильной формы чешуйчатые выделения) в массе самородной платины (серое и светлосерое — после протравы). Черное — хромшпинелид (?). По Д ю-
п а р к у.

ликов среди основной платиновой массы или в зернах хромшпинелидов. Двойниковые срастания до сих пор не наблюдались.

Рентгенометрических исследований иридиистой платины не производилось.

Физические свойства

Твердость специально не измерялась. Но сравнительным путем в полированных шлифах, в частности по сравнению с поликсерном, ее можно выразить в переводе на шкалу Мооса цифрой 5—6. Благодаря высокой твердости она рельефно выделяется среди массы платины в полированных шлифах. Блеск металлический. Цвет серебрано-белый.

Спайности не наблюдалось. Излом неровный. Полировку принимает сравнительно хорошо.

Удельный вес иридовой платины, вероятно, колеблется в зависимости от содержания иридия и примесей Fe. Имеются два определения уд. в. иридовой платины: из Калифорнийских россыпей — 19,5, из Бразилии по рч. Абаэтэ — 16,94.

Перед паяльной трубкой не плавится. Остальные физические свойства иридовой платины не изучены.

Химическая характеристика

Данные по химическому составу иридовой платины очень отрывочны. Имеется старый анализ С в а н б е р г а:

Pt	Ir	Pd	Rh	Os	Fe	Cu	Сумма
55,44;	27,79;	0,49;	6,86;	сл.;	4,14;	3,30;	98,02%

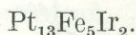
В пересчете на атомные соотношения получаем формулу: Pt_4Ir_2Fe .

Если доверяться этому анализу, то для иридовой платины характерным является повышенное содержание родия.

Затем имеется анализ Б. Г. Карпова трудно растворимых остатков платины после обработки сырой платины царской водкой из коренного месторождения «Госшахта» в Нижне-Тагильском округе:

Pt	Ir	Cu	Ni	Fe	Сумма
76,98;	10,39;	0,01;	0,86;	11,56 (?) ¹	100,40%

Из части зерен анализируемого вещества был приготовлен полированный шлиф путем препарировки их в бакелите. Исследование показало, что на долю иридовой платины приходилось около 60—70%, остальное падало на поликсеновую разность. В пересчете на атомные соотношения, за вычетом поликсена, состав которого был определен, получаем формулу:



Иридовая платина по сравнению с поликсом значительно труднее растворяется в царской водке и то при кипячении. То же самое следует сказать и про отношение ее к остальным реагентам.

Физико-химическая характеристика

Иридовая платина сплавляется в пламени гремучего газа. Перед паяльной трубкой не плавится. Температуры плавления находятся между 1755° (для чистой платины) и 2360° (для чистого иридия).

Сплавы системы иридий — платина изучались Штейнманом (1900), затем Гейбелем (1910) и наиболее полно В. А. Немеловым (1928). Последним были изучены следующие свойства сплавов: 1) твердость

¹ В определении железа была допущена ошибка, оставшаяся непроверенной благодаря малому количеству материала для анализа.

и временное сопротивление разрыву; 2) микроструктура и 3) электро-сопротивление и температурный коэффициент (электросопротивления).

Результаты исследований этих свойств показали (рис. 27), что в системе платина—иридий существует непрерывный ряд твердых растворов, не распадающихся при охлаждении.

Эти данные находятся в некотором противоречии с некоторыми явлениями, наблюдаемыми в природной платине. Тщательное минераграфическое исследование условий



Рис. 27. Кривые твердостей и температурных коэффициентов электросопротивления для системы сплавов платина—иридий.

выделения и морфологических особенностей иридистой платины в рудах из коренных месторождений привело автора к определенному заключению, что микроскопические выделения иридистой платины часто представляют собой продукт распада твердого раствора иридистой платины в основной платиновой массе ¹. За это говорит наличие так называемых эмульсионных структур распада твердых растворов, причем образующиеся иногда мельчайшие выделения иридистой платины располагаются вдоль плоскостей спайности в самородной платине, местами приобретая пластинкоподобные формы ². Иногда можно было заметить явления коалесценции (или собирания) мелких выделений в более крупные, но зато с более редким расположением (см. рис. 24).

Наконец, в случаях наибольшего содержания иридистой платины наблюдались пегматитоподобные сростания с платиной, представляющие в этом случае как бы эвтектоид-

¹ Позднее к подобным же выводам пришел и Шнейдерхён (1930), изучивший несколько шлифов из Уральских месторождений.

² Возможно, что Гуссак, описывая расположение пластинок «осмистого иридия» по плоскостям октаэдра в кристаллах платины, на самом деле имел перед собой или подобные же включения пластинкоподобных форм иридистой платины или следы спайности, выявляющиеся при травлении, но не осмистый иридий.

ную структуру, т. е. структуру распада твердого раствора с рисунком эвтектики. Подобного же рода структура среди самородной платины была встречена Кенессаном (рис. 26), но Дюпарк нетравящиеся царской водкой выделения неправильной формы назвал «осmistым иридием», для которого вообще-то характерны правильные кристаллически пластинчатые формы. Химического анализа им произведено не было.

Как бы то ни было, богатая иридием самородная платина, как показали фракционные химические анализы, часто содержит в себе две фазы: самородную платину как основную массу, с некоторым содержанием иридия (поликсеновую разность), и иридистую платину в виде включений. Весьма возможно, что здесь играет роль еще присутствие третьего компонента в существенных количествах, это — железо. Поэтому чрезвычайно интересно было бы экспериментально изучить тройную систему: платина—иридий—железо.

При процессе серпентинизации перидотитовых пород иридистая платина является чрезвычайно устойчивой и при химическом метаморфизме вмещающей платиновой массы не поддается никаким изменениям, оставаясь в виде включений в измененной платине.

4. Платинистый иридий (Ir, Pt) ¹

Эту разновидность часто называют самородным иридием. Впервые он был встречен Брейгауптом, выделившим его из россышной платины Уральских месторождений. Как будто бы характерным для этого минерала является отсутствие железа.

Кристаллографическое описание

Этот минерал кристаллизуется в кубической системе, причем кристаллографически выражен более отчетливо, нежели вышеописанные разности. Класс симметрии гексаоктаэдрический. Кристаллы наблюдались чаще в форме кубов, октаэдров (рис. 28), комбинации куба с октаэдром и ромбическим додекаэдром реже, комбинации куба с пирамидальными кубом и др. Размеры кристаллов достигали 3 мм в поперечнике. Кроме того, встречается в виде округленных и угловатых зерен. Его находили также в самородной платине, богатой осmistым иридием.

Таблица буквенных обозначений граней

№ по пор.	Гольдшмидт	Символы	Еремеев	Дэна	Гинце
1	<i>c</i>	001	<i>a</i>	0	<i>h</i>
2	<i>a</i>	013	<i>f</i>	—	<i>f</i>
3	<i>i</i>	034	<i>g</i>	—	<i>g</i>
4	<i>d</i>	011	<i>d</i>	—	<i>d</i>
5	—	111	<i>o</i>	1	<i>o</i>

¹ Установлен Брейгауптом в 1833 г.

Таблица углов по Гольдшмидту

№ по пор.	Букв. обозн.	Символы	φ	ρ	
1	c	{	001	—	0°00
			010	0°00	90°00
2	a	{	013	0°00	18°26
			031	0°00	71°34
			130	18°26	90°00
3	i	{	034	0°00	36°52
			043	0°00	53°08
			340	36°52	90°00
4	d	{	011	0°00	45°00
			110	45°00	90°00
5	p		111	45°00	54°44

Двойники иридия изучались П. Еремеевым. Он наблюдал как двойники срастания, так и двойники прорастания. Характерно, что часто ему встречались двойники срастания нескольких индивидов, располагающихся параллельно одной или нескольким плоскостям октаэдра, причем центральный индивид являлся наиболее совершенно развитым. Как оригинальную форму двойника прорастания двух тетраэдров он приводит пример, изображенный на рис. 29.

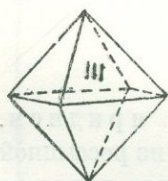


Рис. 28. Октаэдрическая форма платинистого иридия.

Физические свойства

Твердость высокая: 6—7. Блеск сильный, металлический. Цвет серебryanобелый, с поверхности с желтоватым оттенком.

Спайность несовершенная; наблюдалась по плоскостям куба. Излом неровный. Малоковок и тягуч, скорее хрупок; хорошо принимает полировку и легко обрабатывается напильником.

Удельный вес очень высок: 22,6—22,9 (наиболее тяжелый из всех платиновых минералов).

Магнитностью не обладает. Перед паяльной трубкой не плавится. При белокалийном жаре приобретает некоторую степень ковкости.

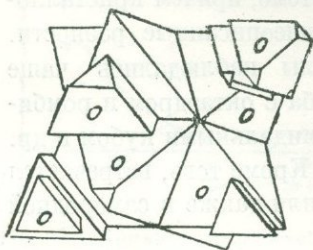


Рис. 29. Двойник прорастания тетраэдров. По Еремееву. 0=(111).

Химическая характеристика

Химический состав платинистого иридия изучен недостаточно. Кроме иридия и платины он содержит немного родия, палладия, меди и др.

Известен старый анализ платинистого иридия, произведенный Сванбергом (из Невьянских россыпей на Урале).

Ir	Pt	Pd	Cu	Сумма	Уд. вес
76,85;	19,64;	0,89;	1,78;	99,16%	22,8

В пересчете на атомные соотношения имеем, примерно, следующую формулу: $\text{Ir}_4 \text{Pt}$.

Известны также неполные анализы платинистого иридия в смеси с осмистым иридием из Нижне-Тагильских россыпей по Косицкому:

Pt	Ir	OsIr
4,75—12,25;	6—7,23;	87,12—70,39%

Здесь атомные соотношения между Ir и Pt, примерно, близки к формулам: IrPt или Ir_2Pt_3 . Кроме того, были встречены в россыпях острова Гаити разности с атомным соотношением: Ir_3Pt . Ему было присвоено название: а в а и т.

Весьма возможно, что от платинистого иридия к иридийской платине существуют непрерывные переходы.

По отношению к химическим реагентам платинистый иридий является чрезвычайно устойчивым. Сплавы платины с 30% и больше иридия травятся только хлором при температуре, превышающей температуру кипения царской водки. Для этой цели полированные шлифы опускают в расплав кислой серно-калиевой соли с прибавлением перекиси марганца и поваренной соли. Кроме того, он сравнительно легко сплавляется с селитрой.

В струе хлора при накаливании иридий в тонко измельченном состоянии дает шестихлористый иридий. Иридиевая чернь производит более энергичное окисляющее действие на газы, нежели платиновая чернь. Если иридиевую чернь положить на пропитанную алкоголем бумагу, то последняя самовозгорается.

Иридий дает сплавы с платиной, медью, железом, а фосфористый иридий с серебром, золотом, оловом, никелем, кобальтом, свинцом и др.

Физико-химическая характеристика

Точка плавления иридия находится между 2150° — 2360° . При температуре 1100° окисляется в краснопурпуровый окисел, причем улетучивается легче, чем платина. Способность испаряться под влиянием электрического тока = 10,49 (если для золота принять = 100).

О сплавах системы иридий—платина сказано выше (см. «иридийская платина»).

Благодаря высокой твердости и чрезвычайной химической устойчивости платинистый иридий часто хорошо сохраняется в виде кристаллов в россыпях.

5. Родистая платина (Pt, Fe, Rh)

Эта разновидность самородной платины еще не окончательно установлена. Вообще количество родия в самородной платине не превышает десятых долей процента; однако, в некоторых редких случаях оно достигает цифры 3,8 до 4,8%. Такова, например, платина с р. Виллюя (Восточная Сибирь), из Чоко и Барбакоас в Колумбии, с острова Борнео и др. Возможно, что встретятся и более богатые родием разновидности самород-

ной платины, так как существуют указания на находки родия в самородном состоянии в россыях Бразилии по р. Абаэтэ и в Экваториальной Колумбии.

Как минерал, родистая платина совершенно не изучена.

Чистый родий представляет собой белый металл, по цвету очень похожий на алюминий, с удельным весом 12,1—12,6. Плавится при 1970°. При красном калении ковок, причем частично окисляется с образованием закиси родия (RhO) и поглощает значительное количество водорода.

6. Палладистая платина (Pt, Pd) ¹

К этой разновидности самородной платины следует отнести богатые палладием разности, парагенетически связанные с медно-никелевыми сульфидными основными породами (Меренский риф Бушвельдского комплекса, Норильское месторождение и др.). Сюда же должна быть отнесена платина из очень оригинального месторождения Вотербергского района (в Южной Африке), где палладистая платина выделилась вместе с железной слюдой в кварцево-халцедоновой жиле. Что же касается палладистой платины, встречающейся в конкреционно-натечных формах в зоне окисления рудных месторождений и в россыях, то мы ее будем рассматривать ниже ².

Кристаллографическое описание

Кристаллов до сих пор не наблюдалось, но по всей вероятности эта платиновая разновидность также относится к кубической системе.

Палладистая платина в Вотербергской кварцево-халцедоновой жиле встречается в виде колломорфных, почкообразных или округлых зерен, имеющих размеры от 0,04 до 0,6 мм в поперечнике. Кроме того, она наблюдается в виде пойкилитовых включений среди кристаллических агрегатов гематита. Колломорфное строение подтверждается и травлением царской водкой.

Что же касается палладистой платины в медно-никелевых сульфидных рудах, то здесь ее морфологические особенности еще очень мало изучены.

Физические свойства

Твердость 4—4,5. Блеск металлический. Цвет серый или серовато-желтый, в полированных шлифах серебристо-белый.

Спайности не наблюдалось. Излом неровный. Ковок. Полируется хорошо. Удельный вес обычно 15—16. У разностей с небольшим содержанием палладия он доходит до 18—20,5. Магнитными свойствами не обладает. Перед паяльной трубкой не плавится. Остальные свойства пока не изучены.

¹ Открыта была В о л л а с т о н о м в самом начале XIX столетия.

² Деление палладистой платины на разновидности α , β и γ , как это было в свое время предложено Г у с с а к о м и В. И. В е р н а д с к и м, в настоящее время, когда найдены переходные разности от бедных к богатым Pd разностям, не имеет существенного значения.

Химическая характеристика

Химический состав палладистой платины из Вотербергского округа в общем следующий:

	Pt	Pd	Au	Сумма
Вельгевонден	91,9	7,0	0,4	99,3%
Ритфонтен.	59,9	37,1	3,0	100,0%

Следовательно, в атомных соотношениях будем иметь: Pt_8Pd и Pt_6Pd_7 .

Для Бушвельдского комплекса, где платина связана с медно-никелевыми сульфидами, мы имеем такие данные в отношении химического состава:

	Pt	Pd	Rh	OsIr	Сумма	
Люденбурген окр. Елена . .	74,13	24,91	—	0,90	—	99,94%
Рустенбургск. окр. Шильд-настнест ¹	66	25	4	1	4	100%

Здесь атомные соотношения между платиной и палладием выражаются следующей химической формулой: Pt_9Pd_4 .

Вообще же отношение палладия к платине, как выяснено в рудах Меренского рифа, может колебаться от 11,8 : 76,3 до 31:19.

Как видно из данных анализов, для палладистой платины характерно отсутствие железа, а также иридия, хотя последний иногда присутствует в количестве не больше 1—1,5%. Могут присутствовать также родий, золото и серебро.

По отношению к химическим реагентам палладистая платина является менее устойчивой, чем другие минералы платиновой группы. Он легко травится слабой царской водкой на холоду. Чистый палладий легко растворяется в кислотах: азотной, серной, соляной, царской водке и др. Из разбавленных растворов палладий осаждается иодистым калием в виде черного осадка, растворимого в избытке, а платина дает коричневатокрасное иодистое соединение. Эта реакция на палладий считается очень чувствительной.

Характерной особенностью палладия является способность поглощать большие количества газов, в частности водорода до 380 объемов на холоду. Палладиевая черн поглощает еще больше (до 982 объемов).

Физико-химическая характеристика

Чистый палладий плавится при температуре 1549,5° С и является наиболее легкоплавким из всех металлов платиновой группы. При нагревании на воздухе приобретает фиолетовый цвет, исчезающий при более сильном накаливании. В пламени гремучего газа улетучивается, давая зеленые пары. Способность испарения под влиянием электрического тока = 108 (если для золота принять ее равной 100).

Сплавы палладия с платиной изучены недостаточно, но, насколько можно судить по данным химических анализов природных соединений,

¹ Среднее из нескольких анализов.

система палладий — платина представляет собой непрерывный ряд изоморфных смесей. Сплавы палладия с железом изучались А. Т. Г р и г о р ь е в ы м и согласно его данным при застывании образуют непрерывный ряд твердых растворов. При понижении температуры в сплавах богатых палладием наступает превращение твердого раствора в химическое соединение.

В условиях зоны выветривания палладистая платина является менее устойчивой. Палладий окисляется в палладит (PdO), благодаря чему происходит отделение Pt от Pd, т. е. палладистая платина постепенно обогащается платиной, а также отчасти железом. Поэтому в окисленных зонах месторождений палладистой платины (например, Меренского рифа в Бушвельдском комплексе) мы всегда имеем более высокопробный по отношению к платине металл.

7. Палладий (Pd)

Самородный палладий много раз был встречен в россыпных месторождениях платины, но ни разу до сих пор не был наблюден в коренных рудах. Иногда он встречается там в виде конкреционных и сталактитовых форм, вследствие чего можно было бы подозревать для него экзогенное происхождение, что, повидимому, имеет место и на самом деле. Однако, на ряду с этим изредка он наблюдался и в виде мелких октаэдров, что с некоторой степенью вероятности позволяет его считать, как остаточный продукт при выветривании коренных месторождений.

Самородный палладий, как минерал, почти не изучен. Повидимому, он принадлежит к кубической системе. Обладает средней твердостью (4—4,5), металлическим блеском и серебряно-белым цветом. Удельный вес по сравнению с другими платиновыми минералами невелик: 10,84—11,5.

В последнее время химических анализов самородного палладия не производилось. Согласно старым анализам он почти на 100% состоит из палладия и в виде следов в нем присутствуют Ir, Cu, Ag и Au. Платина отсутствует.

8. Аллопалладий (Pd)¹

Здесь относится гексагональная разновидность самородного палладия, являющаяся таким образом одной из полиморфных модификаций. Кристаллы его принадлежат к гексагональной системе, может быть к ромбоэдрическому виду симметрии. Размеры отдельных кристаллов не превышали 1 мм. Толстые шестисторонние таблички образованы кристаллическими гранями: (0001) и (1010). Спайность по (0001). Кристаллическая решетка не изучена.

Твердость аллопалладия около 4 (значительно ниже, чем у осмистого иридия, по внешнему облику весьма похожего на него). Очень хрупок. Цвет серебряно-белый.

Химический состав подтвержден спектрографическим анализом Ц и с а р ц е м.

¹ Открыт был Ц и н к е н о м в 1835 г. Название дано Д э н а в 1868 г.

II. ГРУППА ОСМИЯ—РУТЕНИЯ (ОСМИСТОГО ИРИДИЯ)

Общие замечания

Эта группа после группы самородной платины является второй по степени распространенности ее месторождений. По существу мы здесь имеем два главных минеральных вида: *сысерскит* (иридистый осмий) и *невьянскит* (собственно осмистый иридий), причем последний пользуется наиболее широким распространением, хотя в некоторых районах преобладает сысерскит над невянскимитом. Главная масса минералов этой группы связана с *перидотитовыми* массивами, остальная часть вместе с золотом, повидимому, с гидротермальными жилами.

В первом типе месторождений осмистый иридий встречается часто в тесном парагенезисе с самородной платиной и нередко с хромшпинелидами, причем в самых различных количественных соотношениях. Однако, он далеко не всегда бывает приурочен к хромшпинелидовым рудным телам. Имеется ряд указаний на металлоносность (осмистым иридием) самих перидотитовых пород и змеевиков, происшедших из них. В коренных месторождениях он известен на островах *Тасмания* и *Новая Гвинея* (Папуа), а также в *Невянском* районе на Урале и других местах. В россыпях, приуроченных к змеевикам, встречается в целом ряде мест Урала (*Заозерский* округ на Северном Урале, *Невянском*, *Верхнейвинском*, *Сысертском*, *Миасском* и др. районах), в Сибири (*Джиддинском*, *Бирюсинском*, *Алтайском*, *Алатаусском* и др.), в Экваториальной Колумбии, Канаде (рч. *Тюламин*) и др.

Как спутник золота осмистый иридий распространен на Аляске (в кварцевых жилах *Могавк*), в Калифорнии и Орегона, в трансваальских конгломератах и россыпях; встречается на Урале (*Царевоалександровская* россыпь, *россыпи Богословского* округа на Северном Урале, в *Шайдурихинском* районе *Невянского* округа в кварцевой жиле вместе с пиритом, халькопиритом, галенитом и др.). В провинции *Хитаки* в Японии он был встречен в золотоносных жилах около *Дайго* и *Кеды*. Во многих из этих месторождений находили сростки золота с осмистым иридием.

Минералы, входящие в эту группу, представляют собой, также как и в группе самородной платины, твердые растворы, но уже других металлов: Os, Ru, Ir, Rh, иногда Pt. В незначительных количествах могут присутствовать также: Fe, Cu, Pb, Au, S и в виде следов Pd. Некоторые из них, как, например, S, отчасти может быть Pt и Fe, вероятно входят в состав этих минералов в виде механической примеси каких-либо других минералов. Иногда в минералах этой группы наблюдается значительное количество газовых включений.

Твердые растворы рассматриваемой группы, как уже было сказано хотя и встречаются совместно с платино-палладиевыми природными твердыми растворами, но не образуют общих изоморфных смесей, благодаря

различию их кристаллических решеток. По целому ряду свойств эти две группы минералов резко отличаются друг от друга. В этой группе минералов мы различаем следующие минеральные виды, носящие общее название «осмистого иридия»: осмит, сысерскит, невьянскит, рутениевый сысерскит, рутениевый невьянскит и родиевый невьянскит.

Все эти минералы принадлежат к гексагональной сингонии и имеют ту же кристаллическую решетку, что и у чистого осмия (рис. 39), причем в кристаллической решетке осмия часть атомов может замещаться атомами



Рис. 30. Осмит (?) (черный) и осмистый иридий (белый с рельефом) в виде пластинчатых кристаллов в самородной платине. Светлосерые неправильной формы зерна в платине (без рельефа) — неизвестный платиновый минерал с твердостью около 4. Кытлымо-Косвинский массив р. Иов. Увеличено в 100 раз.

иридия (и платины) в различных соотношениях с сохранением характера решетки. Изменяется лишь величина параметров. Все это заставляет рассматривать эти минералы, как твердые растворы иридия и платины в осмии. Дорентгенометрических исследований их склонны были считать определенными химическими соединениями (осмиды и рутениды иридия), что не подтвердилось.

9. Осмит (Os, Ir)

Этот минерал очень слабо изучен. Он встречается в россыпях в виде черных, сильно окатанных (т. е. более мягких) зерен, не имеющих спайности. Возможно, что черный порошок, получаемый в виде нерастворимого осадка после обработки царской вод-

кой сырой платины, относится к этому минералу. Среди уральской платины с рч. Иов Кытлымо-Косвинского района, очень богатой осмистым иридием, автору приходилось наблюдать в полированных шлифах на ряду с светлыми и твердыми пластинками осмистого иридия совершенно черные и мягкие, очень похожие на графит, пластинки какого-то, ближе не определенного, минерала (рис. 30). Возможно, что они представляют собой осмит. По внешнему виду различают также светлосерую

разновидность осмита, для которой не имеется никаких химических данных. Возможно, что эта разновидность относится к сысерскиту.

Удельный вес осмита сравнительно с другими платиновыми минералами невелик: 10,7—16,44. Твердость точно не определена. Обладает магнитными свойствами. В тонких листочках прозрачен (?) или просвечивает, имея светлосерый цвет с красноватым отливом. Оптически одноосен.

Для осмита имеется всего лишь один и то неполный анализ Г. Черника:

Ir	Os	Ru
10	80	5%

Чистый кристаллический осмий имеет синеvато-серый цвет, очень тверд, хрупок и обладает удельным весом 22,47—22,5. Точка плавления 2500°C , т. е. этот металл является наиболее тугоплавким из всех металлов платиновой группы. При накаливании выше 420°C окисляется и летит в виде OsO_4 , причем издает резкий запах.

10. Сысерскит (Os, Ir)¹

Кристаллографическое описание

Этот минерал изучен также далеко не достаточно. Он наблюдался в россыпях в виде окатанных пластинок, обломков, иногда в виде шестигульных пластинчатых кристалликов. Кристаллы его специально не измерялись. По аналогии с невьянскимитом они, вероятно, имеют дитриганально-скаленоэдрический вид симметрии. Данные рентгенометрических исследований см. ниже (невьянскит).

Физические свойства

Твердость сысерскита точно неизвестна. Во всяком случае она высокая (около 6), но, вероятно, ниже, чем у невьянскита. Блеск металлический. Цвет стальносерый. Обладает ясной спайностью по пинакоиду. Удельный вес достигает 21,11—22,55. Часто, повидимому, обнаруживает магнитные свойства.

Перед паяльной трубкой не плавится, становится черным и выделяет пары осмиевого ангидрида, издающие резкий запах. При сплавлении с селитрой образуется зеленая масса. При кипячении с водой этот сплав выделяет черный порошок.

Минерал непрозрачен, но в тонких пластинках как будто бы просвечивает. В полированных шлифах в отраженном свете по сравнению с невьянскимитом имеет серовато-белый цвет и благодаря высокой твердости рельефно выделяется среди массы самородной платины. Измерения абсолютной отражательной способности дали следующие результаты (в процентах): для зеленого света—59, для оранжевого—54, для красного—53.

¹ Назван по месту нахождения в Сысертском районе (около Свердловска), на Урале. Открыт Розе в 1833 г. Название предложено Гайдингером в 1845 г.

Химическая характеристика

Химический состав характеризуется богатством осмия. Имеется только один полный анализ этого минерала:

Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Fe	Cu	Сумма
67,9;	17;	8,9;	4,5;	0,2;	0,03;	0,03;	98,38%

Следовательно, химический состав этой разновидности иридиевого осмия соответствует формуле; IrOs_3 , или IrOs_4 . Кроме иридия, как видим, присутствует в существенных количествах рутений, а также родий.

По отношению к химическим реагентам является чрезвычайно устойчивым. При аффинаже так называемой сырой платины концентрируется в нерастворимом остатке.

11. Рутениевый сысеркит (Os, Ir, Ru) ¹

Эта разновидность сысеркита встречается в россыпях в виде также гексагональных пластинок. Измерений кристаллов не производилось.

О. Е. Звягинцевым и К. Бруновским был произведен рентгенометрический анализ, который показал, что его кристаллическая решетка принадлежит к решетке чистого осмия (рис. 39). Размеры элементарной ячейки следующие:

$$a = 2,710\text{Å}; \quad c = 4,282\text{Å};$$

$$\frac{c}{a} = 1,58.$$

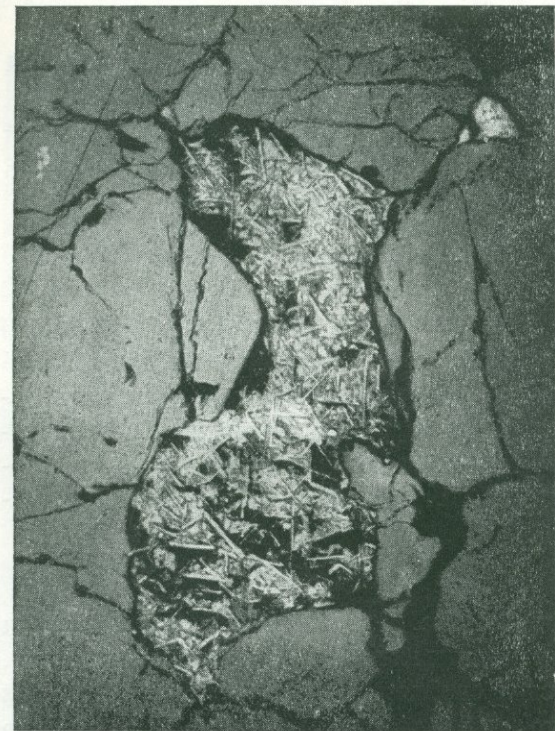


Рис. 31. Обильное выделение осмистого иридия и лаурита (?) в сульфидном зерне («иголки» и изометрические зерна среди белой массы). Окружающий серый фон — хромшпинелид. Черное — трещины, выполненные серпентинитом. Полированный шлиф. Месторождение № 4—02 в Крутом логу Нижне-Тагильского дунитового массива. Увеличено в 80 раз.

Таким образом, рутений в осмистом иридии находится не в виде минерала лаурита (RuS_2), как это предполагали в свое время Сен-Клер-Девиль и Дербэ, а в твердом растворе с осмием. Правда, это обстоятель-

¹ Впервые описан Вагнером в 1929 г. из месторождений Витватерсрандских золотоносных конгломератов. Название предложено О. Е. Звягинцевым, которым он был открыт в россыпях р. Магин-Шано (приток Джидды, в Забайкалье, в 1932 г.), где он встречается в виде примеси к золоту.

ство отнюдь не может исключать парагенезиса богатого рутением осмистого иридия с лауритом. Исследование полированных шлифов руд Нижне-Тагильских коренных месторождений особенно железомедных сульфидов, богатых осмистым иридием, показывает, что на ряду с пластинчатыми выделениями этих минералов нередко присутствуют изометрической формы зерна или кристаллики (рис. 31), очень похожие по физическим и химическим свойствам (цвету, твердости и отношению к реактивам) на минерал, который в литературе описывается, как лаурит.

Цвет Витватерсрандских рутениевых сысерскитов темно-серый со своеобразным бронзово-желтым или бронзово-красным оттенком. Блеск тусклый.

Химический состав их по Вагнеру следующий:

Os	Ir	Ru(+Rh < 0,5%)	Pt	Au	Pd
24,82—41,36;	22,07—36,55;	10,29—15,41;	4,48—15,70;	0,01—12,64;	следы

Золото наблюдается в виде сростков с сысерскитом.

Химический анализ рутениевого сысерскита с Забайкалья (р. Магин-Шано, приток Джидды), произведенный Звягинцевым, дал такие цифры:

Os	Ir	Ru	Pt	Rh	Au	Fe	Cu	Сумма
46,0	24,5	18,3	7,4	—	сл.	2,6	сл.	99,8%

Как видим, образцы Забайкальского сысерскита наиболее богаты рутением.

12. Невьянскит (Ir, Os)¹

Этот минеральный вид является наиболее распространенным из группы осмия — иридия и потому наиболее хорошо изучен.

Кристаллографическое описание

Невьянскит, а повидимому, и все минеральные виды группы осмия — рутения кристаллизуются в гексагональной системе, может быть в дитригонально-скаленоэдрическом виде симметрии. Обыкновенно их относят в классу $L^3 3L^2 3P$, с отношением осей: 1:1,4105. Это отношение осей, по В. И. Вернадскому, требует проверки. Угол (0001) с господствующей пирамидой, по Бурнону — $55^\circ 18'$, по Розе — $62^\circ 0'$, по Еремееву — $52^\circ 10'$. Как доказательство гемиздриии приводят наблюдающееся изредка неравномерное развитие плоскостей (1011), причем самая принадлежность таких форм к (1011), по Вернадскому, сомнительна (рис. 32)². До некоторой степени на отсутствие L^6 указывает характер штриховки и явлений скольжения на гранях кристаллов.

¹ Название получил по месту нахождения в Невьянском округе на Урале. Открыт Волластоном в 1805 г. Название дано Гайдингером в 1848 г.

² Соответственно этому в трудах по минералогии Дэна и Гинтце приведены неправильные данные о кристаллической форме. Спутаны формы 1-го и 2-го рода.

Кристаллы осмистого иридия, а равно и иридистого осмия изучены были Еремеевым и А. Лазоль. Благодаря развитию (0001) они представляют собой шестиугольные пластинки, ограниченные с боков плоскостями призмы (1010) и пирамиды чаще (1120) и (2243) (рис. 33). П. Еремеевым наблюдались также кристаллы в виде неравносторонних шестиугольников, приближающихся по форме к треугольникам. Встречались и неполногранные формы.

Таблица буквенных обозначений граней

№ по пор.	Гольдшмидт	Символы	Дэна	Гинтце
1	<i>c</i>	0001	<i>c</i>	<i>c</i>
2	<i>g</i>	1010	<i>a</i>	<i>a</i>
3	<i>h</i>	1120	<i>m</i>	<i>m</i>
4	—	1011	—	—
5	<i>r</i>	2021	<i>x</i>	<i>x</i>
6	<i>d</i>	1121	<i>r</i>	<i>R</i>
7	<i>e</i>	1121	<i>z</i>	<i>r</i>

Таблица углов по Гольдшмидту
 $c = 1,4105$; $\lg c = 0,14937$; $\lg a_0 = 0,08919$; $\lg p_0 = 9,97328$;
 $a_0 = 1,2280$; $p_0 = 0,9403$

№ по пор.	Букв. обознач.	Символы Бравэ	φ	ρ
1	<i>c</i>	0001	—	0°00
2	<i>g</i>	1010	0°00	90°00
3	<i>h</i>	1120	30°00	90°00
4	<i>r</i>	2021	0°00	62°00
5	<i>de</i>	1121	30°00	58°57

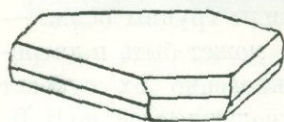


Рис. 32. Наиболее «гемиэдрический» до сих пор известный кристалл. По Еремееву (1120), (2243).

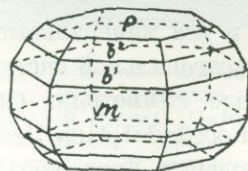


Рис. 33. Наиболее богатая комбинация осмистого иридия. По Леви. $p = (1010)$; $m = (1120)$; $b^1 = (2243)$; $b^2 = (1123)$. По постановке Розе. Из россыпей Чоко в Бразилии.

Двойники обычно не наблюдаются. Встречаются лишь сростки, иногда очень оригинальные. П. Еремеевым описан параллельный сросток, имеющий кольцевую форму (рис. 34). На наличие сростков указывает также О. Е. Звягинцев.

Очень оригинальна бывает скульптура граней. Еремеев, например, наблюдал кристаллы поверхности, которые

были покрыты как бы сеткой, которая при рассмотрении под микроскопом представляла собой закономерные сростки притупленных равносторонних треугольников (рис. 35). Кроме того, как наблюдал О. Е. Звя-

г и н ц е в, иногда обнаруживается характерная вогнутость граней. Эта деформированность кристаллов сказывается и на данных рентгенометрического исследования, которое показало картину, характерную для вальцованных металлов, свидетельствующую об агрегатном строении кристаллов осмистого иридия. Чем вызвано подобное агрегатное строение, сказать пока трудно.

Изучение полированных шлифов из зерен осмистого иридия иногда обнаруживает любопытные явления. В частности, интересен вопрос о нахождении в них газовых включений. На образце, изученном О. Е. З в я г и н ц е в ы м, оказалось, например, что эти включения больше приурочены к периферии зерен. Благодаря наличию пустот, естественно, удельный вес таких зерен пониженный: 17—18. Количество газовых включений, как показывает подсчет, по объему может достигать 17%.

Кроме того, изредка наблюдаются зерна осмистого иридия неоднородные по

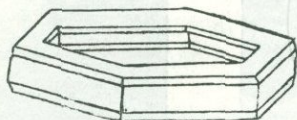


Рис. 34. Кольцеобразный сросток осмистого иридия. По Б р е м е е в у (1120); (2243); 0001). Из Уральских россыпей.

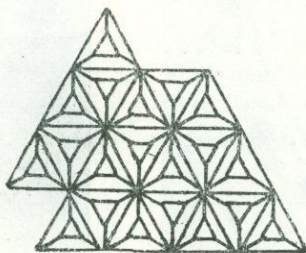


Рис. 35. Наблюдающаяся иногда скульптура граней осмистого иридия.

своему минералогическому составу. В литературе имеются указания на с о в е р ш е н н о правильные сростки, например, невьянскита и сысерскита, пластинки которых как бы закономерно переслаивались друг с другом. Нечто подобное наблюдал и автор при изучении коренных руд в полированных шлифах под микроскопом. Например, наблюдалось, что центральные части пластинок осмистого иридия сложены иным минеральным веществом, отличным несколько по цвету и твердости от периферийных участков. В одном случае это была просто самородная платина, и тогда сам кристалл осмистого иридия являлся бы как пустотелым (рис. 36). Также был констатирован факт нахождения в одном и том же кристалле платины пластинок осмистого иридия, различных по оттенкам и твердости, сказывающейся на их рельефе. Все эти факты до некоторой степени являются страшными, так как исследования рентгенометрического характера и данные химического анализа приводят к заключению, что Os и Ir вместе с ним Pt, Rh, а также Ru способны образовывать твердые растворы в широких пределах. Необходимы поэтому более тщательные химико-минералогические исследования группы минералов осмистого иридия. Если бы удалось поставить изучение физико-химической системы осмий—иридий, то оно оказалось бы, вероятно, чрезвычайно интересным. Очень возможно, что здесь были бы обнаружены некоторые химические соединения переменного состава.

Кристаллы осмистого иридия часто встречаются среди самородной платины, иногда в хромшпинелидах и силикатах, но всегда в виде микропорфировых выделений, что свидетельствует о более раннем их выделении. В разрезе (в шлифах) они выглядят в виде иголок, брусочков и отчетливо заметны на хорошо отполированной поверхности самородной платины. Очень часты при этом скелетоподобные сростки различно ориентированных кристаллов (рис. 37 и 38), которые прекрасно сохраняют свою общую форму после растворения вмещающей массы платины в царской водке. Гуссак в одной из своих работ приводит закономер-

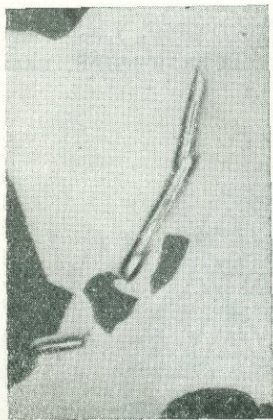


Рис. 36. «Пустотелые» пластинки осмистого иридия, резко выделяющиеся на фоне самородной платины (белое) благодаря высокой твердости. Серое — хромшпинелид. Месторождение № 28 в Александровском логу Нижне-Тагильского дунитового массива. Полированный шлиф. Увеличено в 120 раз.

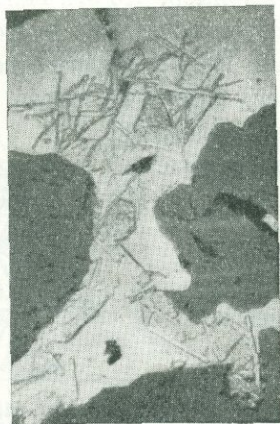


Рис. 37. Скелетный сросток различно ориентированных кристаллов осмистого иридия в платине (белое). Серое — хромшпинелид. Черное — пустоты. Месторождение № 4—00. Нижне-Тагильский дунитовый массив. Увеличено в 110 раз.



Рис. 38. Группа кристаллов осмистого иридия в платине (белое). Серое — хромшпинелид. Черное — пустоты и серпентин. Месторождение № 4—02. Нижне-Тагильский дунитовый массив. Увеличено в 120 раз.

ные срастания платины и осмистого иридия, обнаруживаемые после травления царской водкой: вростки осмистого иридия как будто бы располагались вдоль направлений по октаэдру в кубиках платины. Это утверждение вызывает большие сомнения. Как правило, осмистый иридий выделяется раньше платины, и трудно себе представить, чтобы он выделялся согласно кристаллографическим направлениям позднее кристаллизующейся платины. Факты, наблюдаемые автором, говорят как раз об обратном. По всей вероятности, Гуссак, принял линии спайности в платине, выявляющиеся при травлении, за вростки осмистого иридия. Точно так же мало вероятны неправильной формы выделения осмистого иридия, пегматитовидно прорастающие платину (рис. 26). Как указывалось, подобные формы

выделений среди самородной платины наблюдаются, но в исследованных автором случаях они представлены были иридовой платиной, а не осмистым иридием.

Рентгенометрическое исследование осмистого иридия было произведено Г. Аминовым и Г. Фрагменом (1921). Ими была получена рентгенограмма по Лауэ, указывающая на гексагональную кристаллическую решетку образца с параметрами:

$$a = 2.90 \text{ \AA}$$

$$c = 4.60 \text{ \AA}$$

$$\frac{c}{a} = 1.59$$

Положения атомов таковы:

$$\text{Базис} \begin{cases} {}^4\text{Ir} (000) \\ {}^4\text{Os} \left(\frac{2}{3} \frac{1}{3} \frac{1}{2} \right) \end{cases}$$

В элементарном параллелепипеде содержится одна молекула. За последнее время О. Е. Звягинцевым и В. К. Бруновским было произведено рентгенометрическое исследование целого ряда минералов этой группы, из разных районов Урала. Их данные для невянскитов сведены в следующей таблице.

№ по пор.	Месторождение	Состав %		a	c	c/a
		Os+Ru	Ir+Pt+Rh			
1	Невянский район	44,3	50,9	2,620	4,60	1,59
2	Сысертский »	43,9	50,5	2,710	4,287	1,582
3	Миасский »	48,9	51,1	2,697	4,282	1,588
4	Осмий	100	—	2,716	4,331	1,595

Цифры для *a* и *c* даны в ангстремах.

Как видим, кристаллическая решетка невянскита совершенно аналогична решетке чистого осмия (рис. 39).

Физические свойства

Твердость: 6—7. Блеск металлический. Цвет светло-серый или оловянно-серый. Непрозрачен (хотя имеются указания на просвечиваемость в тонких пластинках).

Спайность совершенная по базопинаккиду (0001). Хрупок. Излом неровный. Удельный вес колеблется от 17,0 до 21,1. Как указывалось, на колебания удельного веса иногда влияет наличие газовых пустот в минерале.

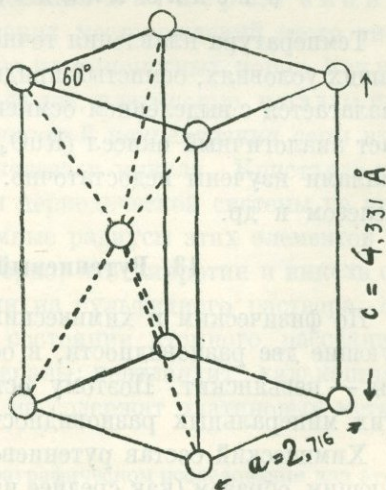


Рис. 39. Кристаллическая структура осмия. Тип с плотно построенной решеткой. Координационное число 12.

Магнитные свойства не изучены. Перед паяльной трубкой не плавится. При сплавлении с селитрой выделяет осмиевые пары. При растворении этого сплава в воде при кипячении выпадает черный порошок иридия. При нагревании отполированного образца в пламени бунзеновской горелки до температуры ярко красного каления выделяются также пары осмиевого ангидрида с характерным резким запахом. При этом кристаллы осмистого иридия теряют свой блеск и становятся черными.

В поляризованном отраженном свете невьянскит обнаруживает еле заметный аниетропизм. Плеохроизма заметить не удается.

Химическая характеристика

Химический состав невьянскита в среднем можно выразить следующими цифрами:

Ir	Os	Ru	Rh	Pt	Cu	Fe
46,8—77,2;	21—49,3;	0—0,5;	0,5—7,7;	0,1—5,5;	0—0,9;	0—1,4.

Эти данные соответствуют, примерно, следующим химическим формулам минерала: IrOs — Ir_4Os . Минерал чрезвычайно кислотоупорен. Ни кислоты, ни щелочи не действуют. Это обстоятельство до некоторой степени обуславливает его частичное применение в естественном состоянии. В измельченном состоянии он способен сплаиваться с перекисью натрия при температуре вишнево-красного каления. В водную вытяжку этого сплава переходят осмий и рутений. Частично осмистый иридий растворяется лишь в виде тончайшего порошка при долгом кипячении с царской водкой.

При минераграфических исследованиях его подвергают травлению расплавленным цинком.

Физико-химическая характеристика

Температура плавления точно неизвестна. Как указывалось, в обычных наших условиях, осмистый иридий при ярко красном калении (выше 420°C) разлагается с выделением осмиевых паров (OsO_4). Точно так же и рутений дает аналогичный окисел (RuO_4). Сплавы осмия и рутения с другими металлами изучены недостаточно. Осмий дает сплавы с золотом, серебром, железом и др.

13. Рутениевый невьянскит (Ir, Os, Ru)

По физическим и химическим свойствам этот минерал, а равно и следующие две разновидности, в основном похожи на основной минеральный вид — невьянскит. Поэтому остановимся только на химическом составе этих минеральных разновидностей.

Химический состав рутениевого невьянскита может быть выражен следующим образом (как среднее из 5 анализов).

Ir	Os	Ru	Rh	Pt	Cu	Fe
43,3—57,8;	33,5—48,9;	4,7—13,4;	0,6—5,7;	0—0,6;	0,1—0,8;	0,1—1,0%.

Этот минерал встречается в виде блестящих светлых пластинок с совершенной спайностью по (0001) и удельным весом 17,6—19,25.

Перед паяльной трубкой также, как и сысерскит, становится черным и выделяет пары осмиевого ангидрида.

14. Платиновый невяньскит (Ir, Os, Pt)¹

Встречается в виде желтовато-серых металлических зерен. Химический состав по четырем анализам можно выразить следующим образом:

Ir	Os	Pt	Ru	Pd	Cu	Fe
34,7—55,2;	27,3—37,0;	10,1—13,6;	5,10—10,0;	сл.	сл.	сл.

15. Родиевый невяньскит (Ir, Os, Rh)

Наблюдался в виде блестящих пластинок черного цвета очень тяжелых. Химический состав следующий:

Ir	Os	Rh	Pt	Ru
70,4;	17,2;	11,25—12,3;	0,1	—

II. ГРУППА СЕРНИСТЫХ, МЫШЬЯКОВИСТЫХ И СУРЬЯНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Общие замечания

Минералы, принадлежащие к этой группе, представляют собой определенные химические соединения Pt, Pd, Ru с S, As и Sb. В незначительных количествах принимают участие в химическом составе их также Rh, Os, Cu, Fe и может быть Ir и Sn.

Наиболее значительное количество этих минералов бывает приурочено к сульфидным скоплениям (Fe, Ni, Cu) в массивах основных пород (габбропоритов). Чрезвычайно любопытны исследования Вагнера, Рейнига и Шнейдерхена южно-африканских месторождений этого типа в так называемом Бушвельдском комплексе платиноносных пород. Как показало спектрографическое изучение сульфидов, платиновые металлы при высоких температурах и при достаточно высокой концентрации серы входят в изоморфный раствор в сульфидах железа и никеля. Кристалло-химические свойства элементов VIII группы периодической системы не противоречат подобному представлению. Атомные радиусы этих элементов не составляют разницы больше 10%. Характерно, что пирротин и никель содержащий пирит, выделяющиеся первыми из сульфидного раствора, содержат металлы платиновой группы в состоянии атомного рассеяния. Более поздние по времени выделения минералы: пентландит, халькопирит и кубанит, особенно два последних, почти не содержат платиновых метал-

¹ Не исключена возможность, что при минераграфическом исследовании для этого минерального вида будем иметь механическую смесь невяньскита с платиной, так как во многих случаях материал для анализа представлял собой окатанные светлые или серые зерна, а не пластинки.

лов. Это свидетельствует о том, что при более низких температурах элементы платиновой группы значительно понижают тенденцию входить в твердые растворы с сульфидами. Это еще больше подтверждается тем, что в пегматитовых образованиях Твифонтена, отвечающих пнеуматолитовой фазе, мы имеем уже самостоятельные платиновые сульфиды в виде сперрилита ($PtAs_2$) и стибнопалладинита (Pd_3Sb), сопровождающих пирротин и халькопирит. Эти же минералы встречаются и в контактовых месторождениях Звартфонте́на, образовавшихся при более низкой температуре, нежели пироксениты и нориты. Примерно, такая же картина наблюдается в Потгитерсрестском районе, где, кроме сперрилита, были открыты: лаурит (RuS_2), куперит (PtS) и браггит (Pt, Pd, Ni)S.

В других месторождениях сперрилит встречается в аналогичных же условиях и в таких же, примерно, парагенетических группировках в так называемых медноникелевых рудах. Таковы, например, находки в известном месторождении Седбери (Канада).

Сперрилит, кроме того, иногда встречается и в кварцевых жилах, например, на руднике Вермильон, округа Альгома и др. На территории Советского Союза он встречен в россыях Зейского и Тымптонского районов Восточной Сибири. Происхождение его здесь неизвестно. Наконец, с значительной долей достоверности некоторые минералы этой группы заподозрены в коренных рудах Уральских месторождений в дунитовых массивах.

Лаурит наблюдается также в россыях острова Борнео вместе с золотом и платиной.

Повидимому, минералы рассматриваемой группы встречаются и в нашем Норильском месторождении (Сибирь, устье Енисея).

16. Сперрилит ($Pt As_2$)¹

Кристаллографическое описание

Кристаллографически этот минерал обычно бывает индивидуализирован очень хорошо. Кристаллы его принадлежат к кубической системе, додекаэдрическому или пентагон-тритетраэдрическому классу симметрии.

Очень распространены изометрические формы кристаллов сперрилита, примерно, с одинаковым развитием граней куба (001) и октаэдра (111). Кроме этих граней часто имеются формы (012), (013), (110) и др. Гольдшмидтом и Николем описан сперрилит, у которого наблюдалось 15 достоверных форм: (001), (103), (205), (102), (305), (203), (101), (114), (113), (112), (335), (111), (212), (214) и (213). Спенсером и Вагнером кроме того были установлены формы пентагонального додекаэдра (210) в сперрилитах Южно-Африканских платиновых месторождений. О. Г. Падуровой в сперрилитах из Тымптонского района (Восточная Сибирь)

¹ Впервые был установлен в 1888 г. в Канаде в месторождениях медно-никелевых колчеданов. Назван по имени американского геолога Сперра, нашедшего его, и впервые описан Уэлсом и Пенфильдом.

было установлено 11 различных форм (рис. 40 и 41), в том числе несколько новых (071), (133), (677) и (223).

Как видим, кристаллы сперрилита могут быть очень богаты кристаллическими гранями. Нередко наблюдаются прекрасные ступенчатые грани, особенно на кристаллах кубического облика.

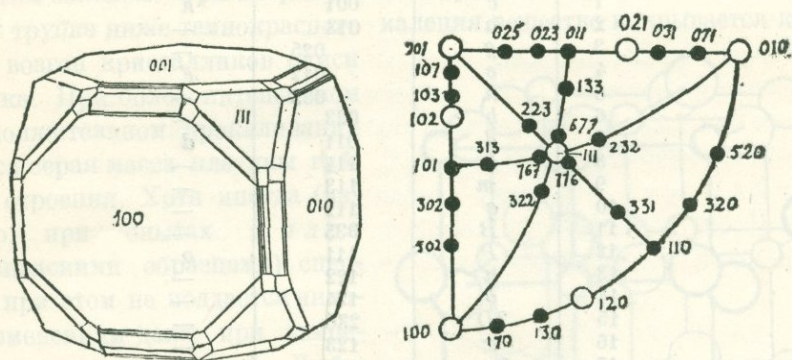


Рис. 40. Кристаллы сперрилита Тымптонского района (Восточная Сибирь).

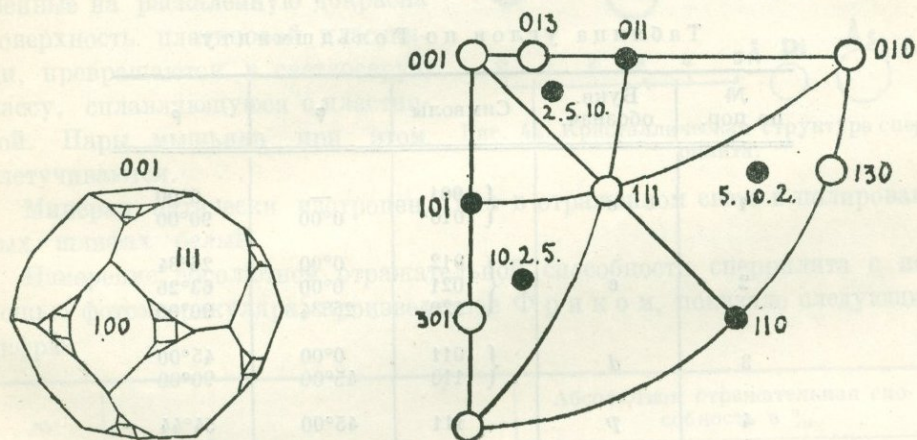


Рис. 41. Кристаллы сперрилита Зейского района (Восточная Сибирь).

По внешнему облику можно выделить три типа кристаллов сперрилита: 1) с преимущественным развитием граней куба (001) (фиг. 40), 2) с преимущественным развитием граней октаэдра (111) (фиг. 41) и 3) с преимущественным развитием граней пентагонального додекаэдра (210).

Двойники наблюдаются сравнительно редко и двойниковые законы почти не изучены.

Размеры кристаллов сперрилита обычно мелки, около 0,5—1,0 мм, но в Южно-Африканских месторождениях, особенно в пегматитовых месторождениях Твифонтена в Потгитерсрестском округе они достигали размера до 1,85 см.

Таблица буквенных обозначений
граней.

№ по пор.	Гольд-шмидт	Символы	Гянце
1	<i>c</i>	001	<i>h</i>
2	<i>a</i>	013	—
3	<i>g</i>	025	—
4	<i>e</i>	012	<i>e</i>
5	<i>h</i>	035	—
6	<i>b</i>	023	—
7	<i>d</i>	011	<i>d</i>
8	<i>k</i>	114	—
9	<i>m</i>	113	—
10	<i>q</i>	112	—
11	<i>B</i>	335	—
12	<i>P</i>	111	<i>o</i>
13	<i>u</i>	122	—
14	<i>φ</i>	124	—
15	? <i>D</i>	236	—
16	<i>x</i>	123	—
17	? <i>z</i>	135	—
18	?	1·2·10	—

Таблица углов по Гольдшмидту

№ по пор.	Букв. обознач.	Символы	φ	ρ
1	<i>c</i>	{ 001 010	—	0°00
			0°00	90°00
2	<i>e</i>	{ 012 021 120	0°00	26°34
			0°00	63°26
			26°34	90°00
3	<i>d</i>	{ 011 110	0°00	45°00
			45°00	90°00
4	<i>p</i>	111	45°00	54°44
5	? <i>A</i>	{ 2·5·10 2·10·5 5·10·2	21°48	28°18
			11°18	63°53
			26°34	79°51

Рентгенометрические исследования сперрилита были произведены Г. Аминовыми и К. Персоном. Кристаллическая решетка оказалась аналогичной кристаллической решетке пирита, где мы имеем простую кубическую решетку (рис. 42). Размеры ребра куба структурной ячейки для пирита: $a=5,40 \text{ \AA}$, а для сперрилита: $a=6,00 \text{ \AA}$.

Физические свойства

Твердость сперрилита достигает 6—7. Блеск сильный металлический. Цвет оловянно-белый. Непрозрачен. Черта темносерая. Спайность обычно

отсутствует, но П. П. П и л и п е н к о удавалось ее наблюдать в Тымптонском сперрилите по (100) при нагревании минерала в закрытой трубке. Излом обычно раковистый. Полируется хорошо. Удельный вес 10,5—10,7.

Перед паяльной трубкой, на угле легко сплавляется в белый шарик с губчатой поверхностью. При этом выделяются белые пары окиси мышьяка с сильным запахом. При нагревании в закрытой, а лучше в открытой стеклянной трубке ниже темнокрасного каления вещество покрывается коркой и дает возгон кристалликов окиси мышьяка. При более интенсивном и продолжительном прокаливании остается серая масса платины губчатого строения. Хотя иногда (например, при опытах Уэ л с а над канадскими образцами) сперрилит при этом не поддается никаким изменениям даже при температуре плавления стекла. Любопытно, что зерна сперрилита, брошенные на раскаленную докрасна поверхность платиновой пластинки, превращаются в светлосерую массу, сплавляющуюся с пластинкой. Пары мышьяка при этом улетучиваются.

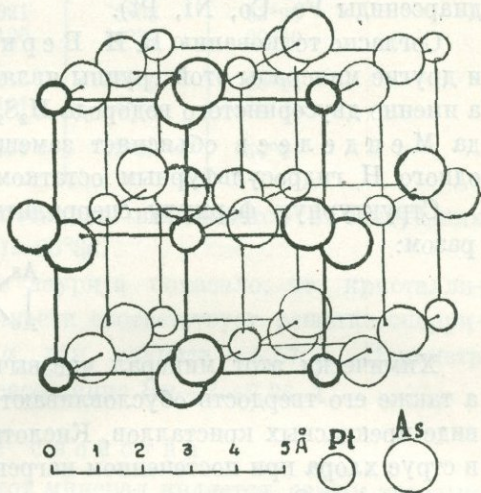


Рис. 42. Кристаллическая структура сперрилита.

Минерал оптически изотропен. Цвет в отраженном свете в полированных шлифах белый.

Измерение абсолютной отражательной способности сперрилита с помощью фотометрокуляра, произведенное Ф р и к о м, показало следующие цифры:

№ по пор.	Месторождение	Абсолютная отражательная способность в %		
		Зеленый свет	Оранжевый свет	Красный свет
1	Образец из Твифонтена Потгитерср. округа	54	53	51
2	Оттуда же	53	51	51
3	С рудника Вермильон, Канада .	53	53	51

Химическая характеристика

Химический состав согласно химической формуле у сперрилита должен быть такой: Pt=56,5% и As=43,5. В действительности же мы имеем:

Pt	As	Rh	Fe	Cu	Sb	Su
52—56	40—41	0—1,6;	0,07—0,4;	0—0,7;	0—0,6;	0—3,6%

Спектрографическое исследование сперрилита из Твифонтена Потгтерсерстского округа, произведенное Г. Шнейдереном, показало, кроме значительного содержания платины, некоторое содержание иридия, палладия, следы золота, родия и серебра. Сурьма, осмий, рутений, никель, кобальт отсутствовали.

Таким образом, по химической формуле и кристаллической решетке сперрилит принадлежит к кубическому ряду группы пирита (дисульфиды, диарсениды Fe, Co, Ni, Pt).

Согласно толкованию В. И. Вернадского, пирит, а следовательно, и другие минералы этой группы являются производными многосернистого, а именно двусернистого водорода H_2S_2 . Структуру многосернистого водорода Менделеев объясняет замещением в обычном сероводороде H_2S одного H гидросульфурным остатком $HS : H-S-HS$.

Структурную формулу сперрилита можно изобразить следующим образом:



Химически этот минерал чрезвычайно устойчив. Это обстоятельство, а также его твердость обуславливают нахождение его в россыпях, часто в виде прекрасных кристаллов. Кислоты на него почти не действуют. Лишь в струе хлора при постепенном нагревании выделяется весь мышьяк и следы платины. Остаток растворяется в царской водке.

17. Лаурит (RuS_2)¹

Кристаллографическое описание

Этот минерал, встречающийся до сих пор главным образом в россыпях, нередко в виде кристаллов, относится к кубической системе, пентагонально-додекаэдрическому классу. Наблюдавшиеся до сих пор формы принадлежат к (100), (210), (111), (311), (211), (321). Облик кристаллов обычно изометрический; иногда бывают кристаллы, вытянутые вдоль кубической оси. Нередко бывают также развиты вицинальные грани.

Таблица буквенных обозначений граней

№ по пор.	Гольдшмидт	Символы	Дэна	Гинтце
1	<i>c</i>	021	<i>a</i>	<i>h</i>
2	<i>e</i>	012	<i>e</i>	<i>e</i>
3	<i>m</i>	1113	<i>m</i>	<i>m</i>
4	? <i>q</i>	112	<i>n</i>	<i>i</i>
5	<i>P</i>	111	<i>o</i>	<i>o</i>
6	? <i>x</i>	123	<i>s</i>	<i>s</i>

¹ Открыт Веллером в 1886 г. в россыпной платине с о. Борнео.

Таблица углов по Гольдшмидту

№ по пор.	Букв. обознач.	Символы	φ	ρ	
1	e	{	001	—	0°00
			010	0°00	90°00
2	e	{	012	0°00	26°34
			021	0°00	63°26
			120	26°34	90°00
3	m	{	113	45°00	25°14
			131	48°26	72°27
4	p		111	45°00	54°44

Средние угловые измеренных кристаллов выражаются в следующих цифрах: (210):(162)=66°24; (210):(100)=26°36.

Рентгенометрическое исследование лаурита показало, что кристаллическая решетка этого минерала в точности соответствует решетке сперритита, а следовательно и пирита, a_c для лаурита = 5,57 Å. Параметр $U=0,39$ Å. Отсюда наикратчайшее расстояние Ru—S=2,35 Å.

Физические свойства

Твердость очень высокая: 7—8. Этот минерал является самым твердым из всех минералов платиновой группы. Блеск металлический. Цвет темный, железо-черный (похожий на цвет железного блеска). Черта темносерая. Непрозрачен.

Спайность по (111) совершенная. Излом раковистый. Очень хрупок. Полируется, повидимому, трудно. Удельный вес—6,99.

Перед паяльной трубкой не плавится, при нагревании растрескивается. Не изменяется также при прокаливании с очень сильными реагентом $KHSO_4$. Сплавляется лишь с KOH и KNO_3 в серебряном тигле, причем дает зеленовато-бурую массу, которая вполне растворяется в воде, раствор приобретает оранжевый цвет. Из раствора HNO_3 высаживает черный осадок сернистого рутения. Оптически минерал изотропен. В полированных шлифах серовато-белый. Абсолютная отражательная способность под данным Фрик а может быть выражена следующим образом:

(Зеленый свет — 42%; оранжевый — 40%; красный — 37%.)

Химическая характеристика

Химический состав по Велеру следующий:

Ru	65,18
Os	3,03
S	31,79
Сумма	100%

Эти данные соответствуют формуле: $20 \text{RuS}_2 + \text{Ru}_4\text{Os}$. В лаурите из Потгитерсреста ((Южная Африка) осмия обнаружено не было.

Таким образом, этот минерал также относится к кубическому ряду дисульфидов металлов группы пирита.

По отношению к химическим реагентам минерал чрезвычайно устойчив. При аффинаже платины согласно сообщениям Сен-Клер-Девилья и Дебре остается в нерастворимом остатке вместе с осмистым придием. Образцы предполагаемого лаурита, выделенного ими при обработке уральской рассыпной платины, хранятся в коллекции Естественно-Исторического Музея в Париже. Эти образцы никем не анализировались.

Однако возможность парагенезиса лаурита с осмистым придием отнюдь не исключается. Как уже было указано выше (см. главу о рутениевом сысерските) в одном из образцов руд коренного месторождения № 4—02 в Крутом логу Н.-Тагильского дунитового массива в зерне сульфида (рис. 31) при больших увеличениях на ряду с пластинчатыми выделениями осмистого придия были встречены изометрической формы мелкие зернышки, обладающие высокой твердостью и серовато-белым цветом. Весьма возможно, что они принадлежат лауриту; более точно определить не удалось.

18. Куперит (PtS)¹

Кристаллографическое описание

Этот минерал встречается в виде микроскопически мелких зерен, часто аллотриоморфных, среди медно-никелевых руд. Редко встречающиеся кристаллики имеют призматический облик и принадлежат к тетрагональной системе. Вытянутость кристалликов наблюдалась вдоль (101), причем четыре вытянутых грани этой зоны представляли форму (111), остальные четыре грани по своей ничтожности в размерах не поддавались измерению. Иногда наблюдались грани (110) и (001). Углы (110):(110) = $90^\circ 5'$, (111):(111) = 76° и (001):(111) $60^\circ 18'$. Для двух последних значений рентгенометрические соотношения соответственно были: $75^\circ 50'$ и $60^\circ 21'$.

Рентгенометрическое исследование кристаллической решетки Беннистера¹ показало, что мы здесь имеем тетрагональную ячейку. При этом она построена из плоскостных групп 4-х атомов серы около каждого атома платины и тетраэдрических группировок платины вокруг серы. Эти группы сочетаются таким образом, что атомы серы (в PtS_4 группе) распола-

¹ Этот минерал впервые был найден Р. А. Купером в 1928 г. в платиновой руде Меренского рифа (Южная Африка). Название дано П. Вагнером в честь открывателя. Первоначально он признавался за дисульфид платины, и формулу для него писали в таком виде: $\text{Pt}(\text{S}, \text{As})_2$. Однако, тонко проведенными работами Беннистера было впоследствии установлено, что материал, анализировавшийся Купером, на самом деле являлся смесью нескольких минералов: собственно куперита (с формулой PtS), сперрилита и браггита.

гаются на углах прямоугольника (почти квадрата) со стороной $=3,05 \text{ \AA}$ (или половина высоты ячейки) и $3,47 \text{ \AA}$ (или сторона ячейки, разделенная на $\sqrt{2}$). Меньший угол между атомом платины и двумя атомами серы $=82^{\circ}36'$ и расстояние $\text{Pt}=\text{S}=2,32 \text{ \AA}$. Ближайшее расстояние $\text{S}=\text{S}=3,05 \text{ \AA}$ и $\text{Pt}=\text{Pt}=3,47 \text{ \AA}$. Тетраэдрические группы Pt около S слегка уплощены, так что, хотя расстояние $\text{Pt}=\text{S}$ то же самое для всех атомов серы, угол, свойственный правильному тетраэдру ($109^{\circ}28'$), здесь представлен в виде углов: $128^{\circ}20'$ и $97^{\circ}22'$. Структура создает впечатление как бы компромисса между близкими к квадрату PtS_4 — группами и почти правильными тетраэдрическими группами SPt_4 .

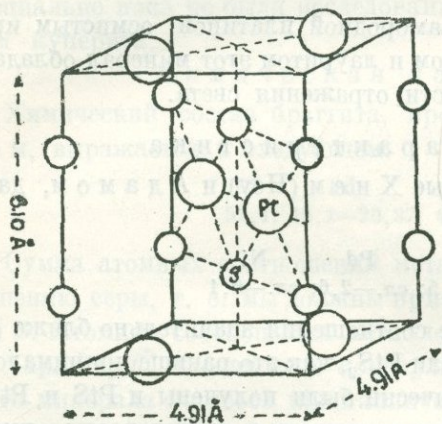


Рис. 43. Кристаллическая структура куперита.

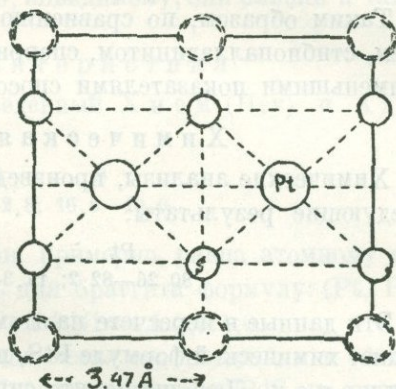


Рис. 44. Проекция структуры куперита на плоскость (110). Пунктиром показаны атомы платины, располагающиеся над и под плоскостью (110).

На рис. 43 показана кристаллическая решетка куперита в масштабе. Изображены тетраэдрические группировки Pt около S и спайность по (111). Рис. 44 изображает проекцию атомов Pt и S на плоскость (110), следовательно, группировки PtS_4 .

В полированных шлифах с куперитом Шнейдерхеном были замечены двойниковые прорастания, иногда со ступенчатыми швами и полисинтетическими пластинками.

Физические свойства

Твердость около 4—5 (выведена сравнительным путем в полированных шлифах). Блеск металлический. Непрозрачен. Спайность часто наблюдается по (111). Излом раковистый. Полируется хорошо. Удельный вес до сих пор не определен. Остальные свойства (магнитность, электропроводность, радиоактивность и пр.) не изучены.

Перед паяльной трубкой, повидимому, легко сплавляется. В закрытой трубке разлагается, выделяя S. В открытой трубке выделяет SO_2 . При нагре-

вании на платиновой пластинке он, теряя серу, оставляет металлический остаток с побежалостью красновато-бронзового цвета. Этот остаток легко растворяется в царской водке и содержит, главным образом, платину с незначительным количеством палладия.

Оптически ясно анизотропен. В положениях максимального посветления цвет при скрещенных николях серовато-розовый и серовато-зеленый. В полированных шлифах в простом отраженном свете имеет белый цвет. Абсолютная способность отражения света при измерении с помощью окуляр-фотометра, по данным Ф р и к а, выражается следующими цифрами (в процентах):

Зеленый свет — 37; оранжевый — 37; красный — 36.

Таким образом, по сравнению с самородной платиной, осмистым иридием, стибииопалладинитом, сперрилитом и лауритом этот минерал обладает наименьшими показателями способности отражения света.

Х и м и ч е с к а я х а р а к т е р и с т и к а

Химические анализы, произведенные Х и е м (Heu) и А д а м о м, дали следующие результаты:

Pt	S	Pd	Ni
80,26—82,2;	14,3—17,5;	сл.—2,6;	сл.—0,1

Эти данные в пересчете на атомные соотношения значительно ближе отвечают химической формуле PtS, нежели PtS₂, как это раньше принималось К у п е р о м. Любопытно, что синтетически были получены и PtS и PtS₂. При этом PtS₂ как показало рентгенометрическое исследование, имеет гексагональную решетку, что также противоречит данным анализа природного соединения.

Этот минерал химически устойчив. Даже длительная обработка его царской водкой не дает никаких результатов. Хотя Ш н е й д е р х е н дает несколько противоречащие данные, согласно которым в полированных шлифах путем обработки горячей концентрированной царской водкой кристаллы и зерна куперита слегка подвергались травлению. Возможно, что при травлении зерна покрываются лишь налетом. По отношению к остальным реагентам этот минерал ведет себя совершенно отрицательно.

В условиях поверхностного выветривания, повидимому, является устойчивым.

19. Браггит (Pt, Pd, Ni) S¹

К р и с т а л л о г р а ф и ч е с к о е о п и с а н и е

Кристаллы браггита принадлежат к тетрагональной системе. Класс симметрии точно еще не установлен. Форма обнаруженных кристаллов

¹ Впервые открыт Б э н н и с т е р о м при помощи рентгенометрического анализа платиновых концентратов из южно-африканских коренных месторождений. Назван в честь Б р а г г о в (отца и сына), создателей рентгенометрического метода в исследовании кристаллического вещества.

имеет призматический характер. Пирамидальные плоскости при этом были закруглены и благодаря этому не поддавались измерениям на гониометре. Пояс призматических граней показывает углы, отличающиеся от 90° на $4'$.

Рентгенометрическое исследование методом кристаллообращения показало следующие размеры элементарной ячейки: $a=6,37 \text{ \AA}$; $c=6,58 \text{ \AA}$. По сравнению с куперитом мы имеем совершенно иную кристаллическую решетку, несмотря на близость химических формул.

Согласно вычислениям, можно принять, что элементарная ячейка этого тетрагонального минерала содержит 8 атомов серы.

Физические свойства

специально пока не были исследованы, но, повидимому, они близки к таковым куперита.

Химическая характеристика

Химический состав браггита, произведенный Х и е м (Heu) и А д а м о м, выражается в следующем:

Pt	Pd	Ni	S
59,1;	18,1—20,87;	4,7—2,8;	16,8—19,0

Сумма атомных соотношений металлов, примерно, равна атомному отношению серы, т. е. мы должны принять для браггита формулу: (Pt, Pd, Ni) S. Атомные соотношения металлов: Pt:Pd:Ni=4,5:2,5:1,0.

Характерно, что из всех моносulfидов металлов, входящих в состав этого минерала по своей кристаллической решетке, только PdS по размерам элементарной ячейки точно согласуется с кристаллической решеткой браггита. Для синтетического PdS мы имеем: $a=6,37$, $c=6,58 \text{ \AA}$. Это обстоятельство заставляет считать, что Pt и Ni изоморфно замещают Pd, без нарушения кристаллической решетки, отвечающей чистому соединению PdS.

Ранее анализированные минералы так называемого куперита при рентгенометрическом исследовании оказались механической смесью собственно куперита и браггита в соотношениях около 3:1 до 4:1.

20. Стибиопалладинит ($Pd_3 Sb$)¹

Кристаллографическая характеристика

Этот минерал пока был с достоверностью установлен в рудах контактово-метасоматических и пегматитовых Потгитерсрестского округа (в Южной Африке), где он встречается в виде неправильных и округлых зерен, иногда с кристаллическими гранями до 2 мм в поперечнике.

Если судить по оптической изотропности, этот минерал должен быть отнесен к кубической системе.

По внешнему виду он очень похож на сперрилит, но отличается от него меньшей твердостью и слегка желтовато-розовым оттенком. Как показы-

¹ Открыт Г. Р. А да м о м в 1927 г. в рудах из Твифонтена. Название минерала было предложено П. Ва г н е р о м.

вает структурное травление в полированных шлифах, выделения стабиопалладинита состоят обычно из агрегата коротко призматических зерен, расположенных в общем перпендикулярно к границам выделений. Вероятно, этот минерал первоначально выполнял пустоты в руде. Призматический облик этих зерен как будто бы говорит против принадлежности этого минерала к кубической сингонии. Рентгенометрических исследований не проводилось.

Двойников до сих пор пока не наблюдалось.

Физические свойства

Твердость сравнительным путем в полированных шлифах определяется как 4—5. Цвет белый с желтоватым или бронзово-розоватым оттенком. Блеск металлический. Непрозрачен. Спайность не наблюдалась. Излом неровный. Полируется хорошо.

Удельный вес—9,5.

Остальные физические свойства пока не изучены.

Перед паяльной трубкой, повидимому, сплавляется. При нагревании в стеклянной трубке из него выделяется сурьма. В царской водке растворяется сравнительно легко (даже в разбавленной).

Оптически изотропен. Анизотропизм замечается лишь после травления, но, вероятно, в этом случае поляризуют образующиеся в результате реакции на поверхности минерала пленки.

В полированных шлифах этот минерал имеет белый цвет и только рядом со сперрилитом или платиной в нем замечается слегка желтовато-розовый оттенок. Абсолютная отражательная способность измерена Фриксом. Результаты этого измерения следующие (в процентах):

Зеленый свет — 56—57; оранжевый — 56—57; красный — 56—57.

Как видим, отражательная способность несколько выше, нежели у сперрилита, но заметно меньше, чем у самородной платины.

Химическая характеристика

Химический анализ, произведенный Г. А. Адамом, дал следующие результаты:

	%
Pd	70,4
Sb	26,0
Нерастворим. остаток	1,4
Fe и пр.	0,9
Сумма	98,7

Частичный анализ Д. Миллина дал аналогичные же результаты:

Pd — 70,35%; Sb — 27,95%

Спектрографический анализ, кроме того, показал присутствие в виде следов: родия, иридия, платины, золота и серебра и отсутствие кобальта, никеля, рутения и осмия.

Химическая формула этого минерала, примерно, такова:



В одном из случаев при анализе нескольких зерен из пробы коренных платиновых руд Нижне-Тагильского дунитового массива, Б. Г. Карповым было констатировано значительное содержание сурьмы. Точно также Н.-Тагильской платиновой лабораторией в одной из проб штольни Крутого лога была обнаружена «богатая сурьмой платина». Количественных анализов не производилось.

По отношению к химическим реагентам этот минерал наименее устойчив из всех рассмотренных платиновых минералов. Он очень легко растворяется в царской водке. Легко травится хлором *in statu nascendi*, что его отличает от сперрилита. В полированных шлифах после проправки приобретает желто-вапо-бурый цвет.

Структура хорошо вытравляется в течение нескольких секунд, при действии концентрированной соляной кислотой, в которую до травления необходимо на кончике ножа прибавить бертолетовой соли (KClO_3). Этот реагент на сперрилит и куперит не действует.

Поведение этого минерала в зоне окисления рудных месторождений точно не изучено. По всей вероятности он, окисляясь, разлагается, давая палладит (PdO) и минералы сурьмы, типа окислов.

Физико-химическая характеристика

Сплавы палладия с сурьмой изучались Фишером, Ресслером, более систематично Зандером (Sander) и А. Т. Григорьевым.

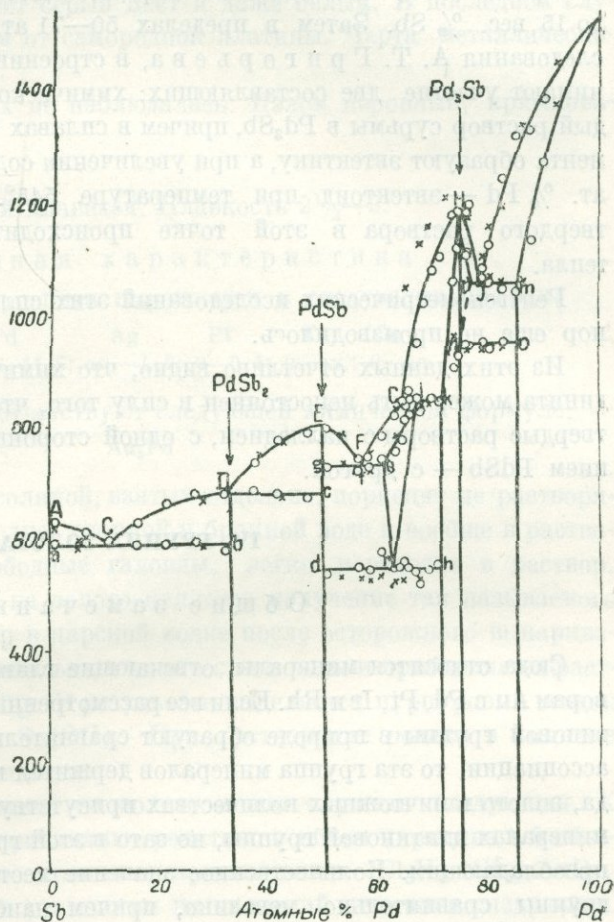


Рис. 45. Физико-химическая система: сурьма—палладий.

Эта система, как оказалось, богата химическими соединениями. Так, например, мы здесь имеем следующие соединения (рис. 45):

1) Pd S_2 — плавится с разложением при 675° и образует с сурьмой эвтектическую смесь, застывающую при температуре 385° .

2) Pd Sb — плавится при 805° и дает также эвтектическую смесь с твердым раствором.

3) Интересующее нас соединение — Pd_3Sb — плавится при 1218° ; с избытком сурьмы образует твердый раствор в пределах 68,5—72,5 вес. % Pd; при 950° претерпевает превращение α модификации в β или обратно.

Кроме того, палладий в твердом состоянии способен растворить до 15 вес. % Sb. Затем в пределах 50—71 ат. % Pd, как показали исследования А. Т. Григорьева, в строении отоженных сплавов принимают участие две составляющих: химическое соединение Pd Sb и твердый раствор сурьмы в Pd_3Sb , причем в сплавах 58,17 ат. % эти два компонента образуют эвтектику, а при увеличении содержания палладия до 62,77 ат. % Pd — эвтектоид при температуре 545° . Характерно, что распад твердого раствора в этой точке происходит с большим выделением тепла.

Рентгенометрических исследований этих сплавов, к сожалению, до сих пор еще не производилось.

Из этих данных отчетливо видно, что химический состав стибнопалладинита может быть непостоянен в силу того, что он способен образовывать твердые растворы с палладием, с одной стороны, и с химическим соединением PdSb — с другой.

IV. ГРУППА ЗОЛОТА

Общие замечания

Сюда относятся минералы, отвечающие главным образом твердым растворам Au с Pd, Pt, Ir и Rh. Если все рассмотренные до сих пор минералы платиновой группы в природе образуют сравнительно тесные парагенетически ассоциации, то эта группа минералов держится несколько особняком. Правда, золото в ничтожных количествах присутствует и в ранее рассмотренных минералах платиновой группы, но зато в этой группе этот элемент является преобладающим. Количественное значение месторождений минералов этой группы сравнительно невелико, причем наибольшим распространением среди них пользуются месторождения золота. Коренные месторождения известны только для палладистого золота в Бразилии, где оно встречается в своеобразных контактовых породах, вблизи гранитных массивов. В пределах Советского Союза почти все минералы этой группы были встречены в бассейне реки Чороха в Закавказье (в россыпях золота).

21. Порпецит (палладистое золото) (Au, Pd) ¹

Кристаллографическое описание

Порпецит кристаллизуется в кубической системе. Кристаллы наблюдаются и обладают простыми формами. Чаще встречается в виде неправильных губчатых масс, пластинок, шаровых конкреций и др.

Физические свойства

Твердость около 3. Блеск металлический. По цвету порпецит часто неотличим от золота, однако все же на поверхности имеет бронзовый или красноватый оттенки. Иногда, повидимому, в зависимости от содержания химических примесей, имеет серый цвет и даже белый. В последнем случае бывает трудно отличим от самородной платины. Черта металлически-блестящая. Непрозрачен.

Спайность в кристаллах не наблюдалась. Излом неровный, крючковатый.

Удельный вес — 15,73.

Перед паяльной трубкой плавится. Плавкость $2\frac{1}{2}$ —3.

Химическая характеристика

Химический состав порпецита выражается в следующих цифрах:

Au	Pd	Ag	Pt	Fe	Cu
86—91,4;	8,2—11,6;	сл.—4,2;	0—0,4;	0—сл.;	0—сл.

Эти данные в общем соответствуют следующей химической формуле:



В кислотах азотной и соляной, взятых отдельно, порпецит не растворяется. Однако, в царской водке, хлорной и бромной воде и вообще в растворителях, содержащих свободные галоиды, легко переходит в раствор.

Характерной реакцией на золото является получение так называемого Кассиева пурпура. Раствор в царской водке после осторожного выпаривания досуха разбавляется небольшим количеством воды и прибавляется раствор хлористого олова (Sn Cl_2). В результате выделяется пурпуровый осадок коллоидального золота и Sn(OH)_2 . При растворении осадка в аммиаке подучается красноватая жидкость.

Микрохимической реакцией на золото может служить следующая. К раствору в царской водке прибавляют реактив: 1 объем пиридина в 9 объемах HBr . Образуются плеохроичные кристаллики: $(\text{Cl}_5\text{N}_4 \text{NH}_4) \text{AuBr}_4$.

Наиболее характерными реакциями на палладий являются следующие. При действии Hg(CN)_2 на азотнокислый раствор выпадает белый студенистый осадок цианистого палладия. При действии на тот же раствор иоди-

¹ Этот минерал был известен сравнительно давно. Еще в XVIII столетии палладистое золото добывалось из коренных и россыпных месторождений Бразилии в штатах Гояз и Минас-Жерайж под названием «гнилого золота». Впервые оно наблюдалось Кюотосом в 1798 г. Название дано Фребелем (1845).

стым калием получается черный осадок. При прибавлении к нему же NH_4Cl выделяется игольчатый осадок двойной соли палладия.

При выветривании месторождений порпечита палладий окисляется до PdO и, таким образом, в зоне окисления происходит отделение золота от палладия.

22. Платинистое золото (Au, Pt)

Этот минеральный вид не может считаться окончательно установленным. Не раз отмечались в литературе находки сростаний золота с платиной, как двух различных минералов (из россыпей Урала, Кузнецкого Алатау, с о. Борнео, с р. Тюламин в Британской Колумбии и др.). Платинистое золото встречено Г. Черником в россыпи в бассейне р. Чороха (Батумский район в Закавказье) в виде спутника платины в золотоносной россыпи. Минераграфически оно не исследовалось.

Химический состав его следующий:

Au	Pt+Ir	Ag	Fe	Cu	Сумма
84,6;	10,5;	2,9	0,2;	0,9;	99,1%

Удельный вес 19,59. Перед паяльной трубкой плавится с трудом. Остальные физические и химические свойства не изучены.

23. Иридиевое золото (Au, Ir)

Этот минеральный вид также еще окончательно не установлен. Он наблюдался Г. Черником в россыпи по Чороху, в Закавказье (Батумский район), следующего химического состава:

Au	Ir	Pt	Ag	Fe	Cu	Bi	Сумма
62,1;	30,4;	2,1;	2,1;	0,6;	0,03;	следы;	97,33%

Удельный вес — 21,69. Перед паяльной трубкой не плавится. Остальные физические свойства не изучены.

24. Родит (родистое золото) (Au, Rh)

Существование этого минерала считается спорным. Кристаллы родита до сих пор не наблюдались. Хранящиеся в Естественно-Историческом Музее в Париже образцы родистого золота, по В. И. Вернадскому, являются скорее сростанием золота с осмистым иридием. Согласно указаниям в литературе Дель-Рио в слитках золота на Мексиканском монетном дворе (до 1825 г.) содержалось до 34—43% родия и 45% золота. Может быть более достоверной находкой родита является находка в бассейне р. Чороха в Закавказье, где содержалось 11,6% родия и золота 88,4% (по Чернику).

Твердость этого минерала не изучена. Цвет светложелтый. Хрупок. Удельный вес 15,5—16,8. В царской водке почти не растворяется.

В. МИНЕРАЛЫ ЭНДОМЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

У. ГРУППА КУПРОПЛАТИНЫ

Общие замечания

При тщательном минераграфическом исследовании Нижне-Тагильских коренных платиновых руд автором были изучены замечательные явления химического метаморфизма самородной платины, обусловленного серпентинизацией ультраосновных пород. Как выяснилось, процесс серпентинизации несмотря на внешнюю его простоту является химически весьма активным процессом, при котором происходит процесс метаморфизма не только оливина, но и таких устойчивых в химическом отношении минералов, как самородная платина и хромшпинелиды.

Метаморфизм платины имеет метасоматический характер и происходит по способу цементации, в том значении этого термина, как его понимают металлурги¹. Из серпентиновых растворов, содержащих в себе железо, медь и никель, в массу самородной платины проникают, как это было подтверждено фракционными химическими анализами, именно эти элементы, образуя с платиной твердые растворы и химические соединения переменного состава. После структурных протрав измененная платина носит типичный характер реакционных кайм (рис. 49). Легче всех из серпентиновых растворов абсорбируется никель, затем медь. Железо всегда содержится в первичной самородной платине в значительном количестве, но кроме того, как указано, при серпентинизации отнимается от растворов еще некоторое количество железа. Генетическая связь этих явлений с процессом серпентинизации установлена совершенно определенно.

Первоисточником никеля является оливин, в котором содержание NiO достигает 0,2—0,3%. Что же касается меди, то она, по крайней мере часть ее, повидимому, переходит в серпентиновые растворы при разрушении железо-медных сульфидов, иногда присутствующих в виде редкой вкрапленности среди дунита. При этом часть меди среди серпентина нередко выпадает в самородном состоянии.

25. Купроплатина (Pt, Fe, Cu)²

Кристаллографическое описание

Наблюдались псевдоморфозы по кубическим кристаллам первичной самородной платины. Самостоятельных же кристаллов не было встречено.

¹ Под явлением «цементация» подразумевается диффузия атомов или ионов какого-либо элемента из окружающей среды в данную твердую или размягченную среду с образованием при этом твердых растворов или химических соединений. Например, при погружении раскаленного так называемого мягкого железа в порошок углерода происходит миграция углерода во внутрь железного предмета и образование корки стали, характеризующейся наличием химического соединения: цементита: Fe₃C.

² Впервые этот минеральный вид открыт А. Г. Бетехтиным и А. Н. Заварицким в 1924 г. Точные химические анализы были выполнены Б. Г. Карповым.

Обычно в результате структурного травления шлифов из руд, содержащих купроплатину, можно наблюдать типичные реакционные каймы (рис. 46—49), представляющие собой мелкозернистый агрегат грубых волокновидных, т. е. вытянутых в одном направлении зерен (рис. 47). Реже встречаются агрегаты изометрических зерен. При очень активном воздействии серпентиновых растворов на платину наблюдается и переотложение медистой платины в виде тонких жилок в серпентине (рис. 51 и 52).

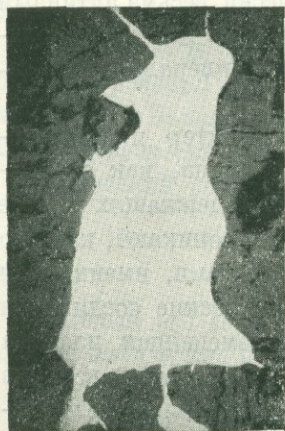


Рис. 46. Зерно платины (белое) до травления. Серое — хромшинелид. Черное — частью серпентин, частью пустоты, возникшие при шлифовке. Никаких структурных особенностей в зерне платины не заметно. Месторождение № 4—00 Крутой лог. Нижне-Тагильский дунитовый массив. Увеличено в 100 раз.

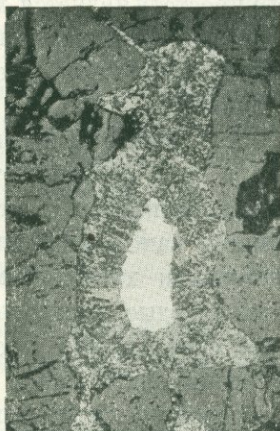


Рис. 47. То же зерно после травления разбавленной царской водкой в течение 20 минут. Хорошо видна структура купроплатины (периферическая часть зерна).



Рис. 48. То же зерно после травления разбавленной царской водкой в течение 60 минут. Купроплатина в значительной мере перешла в раствор.

Довольно часто можно наблюдать полисинтетически-двойниковые образования (рис. 50). Закон их образования установить пока не удалось.

Этот минеральный вид, повидимому, принадлежит к кубической системе, если судить по его оптической изотропности.

Рентгенометрических исследований природного минерала пока произведено не было. Искусственные же сплавы рентгенометрически были детально изучены Иогансоном и Линде (см. ниже — физико-химическая характеристика).

Физические свойства

Твердость средняя — 4 (определена сравнительным путем по отношению к первичной самородной платине в полированных шлифах). Блеск металлический. Цвет стальносерый. Непрозрачен.

Спайность не наблюдалась. Хрупок. Излом неровный. Полируется хорошо.

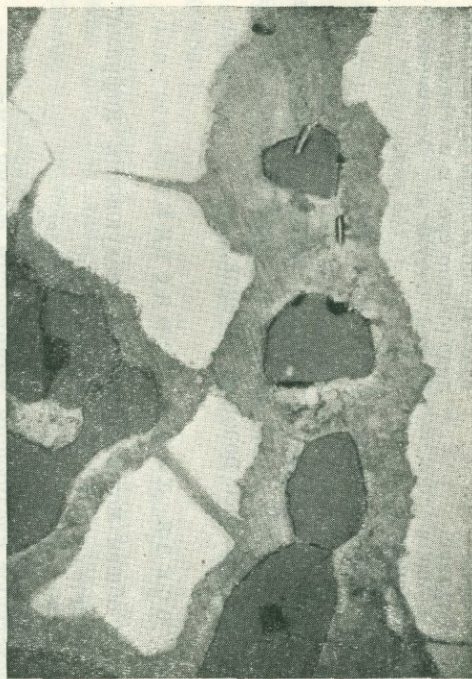


Рис. 49. Каемки купроплатины (светлосерое) вокруг зерен хромшпинелида (серое). Белое — платина первичная. Протравлено разбавленной царской водкой. Недотравлено и потому структура медистой платины не видна. Пластинчатые включения в хромшпинелиде и в медистой платине — осмистый иридий. Увеличено в 90 раз.



Рис. 50. Подсинтетически двойниковые образования купроплатины, выявляющиеся после протравы царской водкой. Крупные серые зерна по периферии — хромшпинелид. Участок не протравившейся платины (белое с гладкой поверхностью) — первичная платина. Месторождение № 4—42 в Крутом логу Нижне-Тагильского дунитового массива. Полированный шлиф. Увеличено в 110 раз.

Удельный вес 14,6. Вероятно, колеблется от количественного содержания химических примесей.

Обладает сильным полярным магнетизмом. Радиоактивных свойств не обнаруживает.

Перед паяльной трубкой не плавится, несколько темнеет.

В отраженном поляризованном свете ведет себя как изотропный минерал. Цвет в полированных шлифах в отраженном свете белый, не отличимый от цвета первичной платины, лишь в разновидностях богатых медью он



Рис. 51. Зерно купроплатины (белое) в серпентине (черное). Сильно разъедено. Серые зерна — хромшпинелид. Снято до травления. Месторождение № 4—00 в Крутом логу Нижне-Тагильского дунитового массива. Увеличено в 90 раз.

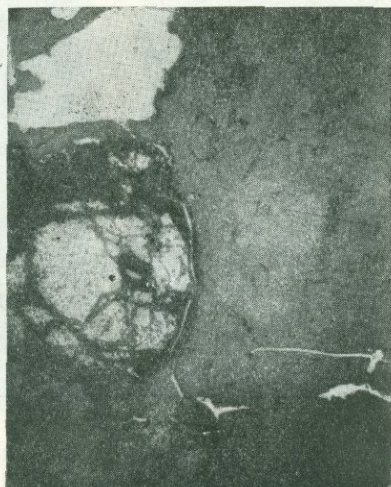


Рис. 52. Переотложенные тонкие жилки купроплатины (белое) вдоль границы зерна хромшпинелида (светлосерое) и в серпентине (серое). Оттуда же. Увеличено в 140 раз.

приобретает чуть зеленоватый оттенок и несколько меньшую твердость по сравнению с самородной платиной. Были встречены зерна с весьма богатым содержанием меди, имевшие слабый розовый оттенок.

Химическая характеристика

Химический состав в общем можно выразить следующими цифрами:

Pt+Ir (раств.)	Fe	Cu	Ni
65—78;	13—17;	5—13;	0,5—1,5%

Эти данные соответствуют следующим химическим формулам:



По сравнению с первичной платиной, за счет которой возникает эта разновидность платины, содержание меди увеличивается в 15—25 раз.

Кроме того, существуют разновидности со значительно большим содержанием меди (точно не анализированы).

В царской водке растворяется чрезвычайно легко. Очень богатые медью разновидности растворяются даже в азотной кислоте. Структурные особенности наилучшим образом выявляются при травлении в парах смеси (1:1) соляной кислоты с 50% раствором хромового ангидрида. Определение платины может быть произведено обычным путем (см. ферроплатина). Присутствие меди устанавливается с помощью NH_4OH (в парах реактива).

Физико-химическая характеристика

Искусственные сплавы системы платина — медь изучены довольно хорошо. Впервые систематическое исследование было произведено Деринкелем в 1907 г. (рис. 53). Термоэлектродвижущая сила и электросопротивление этих сплавов были исследованы Седштремом. В 1927 г. Иогансон и Линде

детально их исследовали рентгенометрически. В 1930 г. детально эта система была изучена Н. С. Курнаковым и В. А. Немиловым (рис. 54). Результаты этих исследований сводятся к следующему.

Сплавы платины с медью при высоких температурах (выше 800°) образуют непрерывный ряд твердых растворов. По мере охлаждения при температурах около 800° для области составов, близких к 50 ат. (75,5 вес. %) Pt, происходит образование химического соединения PtCu переменного состава.

Для состава 20—25 ат. % Pt при температурах около 500° , с помощью измерения кривых твердостей и температурных коэффициентов сопротивления (фиг. 54), также устанавливается превращение твердого раствора. Правда, при изучении микроструктур оно не улавливается.

Таким образом, изучение кривой твердости закаленных сплавов системы: Pt—Cu показывает, что мы имеем один непрерывный ряд твердых растворов. Однако, при медленном понижении температуры он распадается на три ветви, отвечающие трем твердым растворам. Сингулярная точка одной из них как раз и соответствует химическому соединению переменного состава: PtCu, являющемуся для нас наиболее интересным.

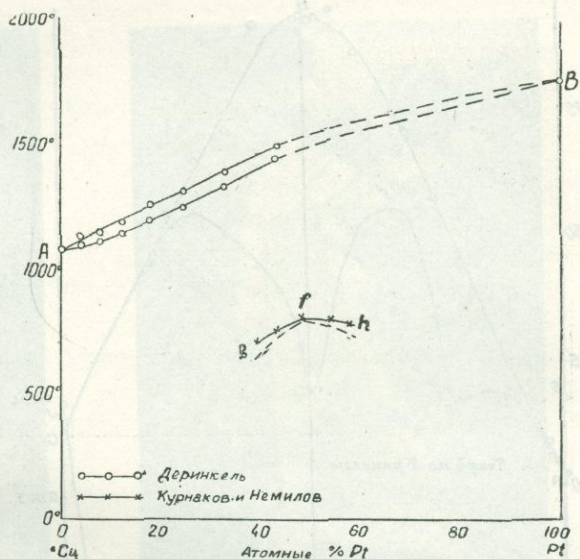


Рис. 53. Кривая плавкости системы: платина—медь.

Данные изучения микроструктуры сплавов показывают, что в сплавах с содержанием платины в пределах 40—60 ат. % при медленном остывании появляется «игольчатое» строение, т. е. возникают пластинчатые образования, носящие характер полисинтетических двойников, правда, не так отчетливых, как это мы имели для системы: Pt — Fe. Следовательно, мы

здесь также не имеем, по видимому, типичного распада твердого раствора на два (или более) компонента, а лишь превращение одного твердого раствора в другой, которое в морфологическом отношении выразилось лишь в двойниковании новой фазы.

Рентгенометрические исследования сплавов этой системы, произведенные Иогансоном и Линде, установили, что закаленные сплавы области около 50 ат. % Pt обладают «неупорядоченной структурой», тогда как для отожженных сплавов мы имеем тригональную фазу. Для отожженных сплавов около 25 ат. % Pt устанавливается структура куба с центрированными гранями, а для закаленных сплавов этой области мы также имеем «неупорядоченную» структуру. Природная купроплатина, очень близкая по составу к области

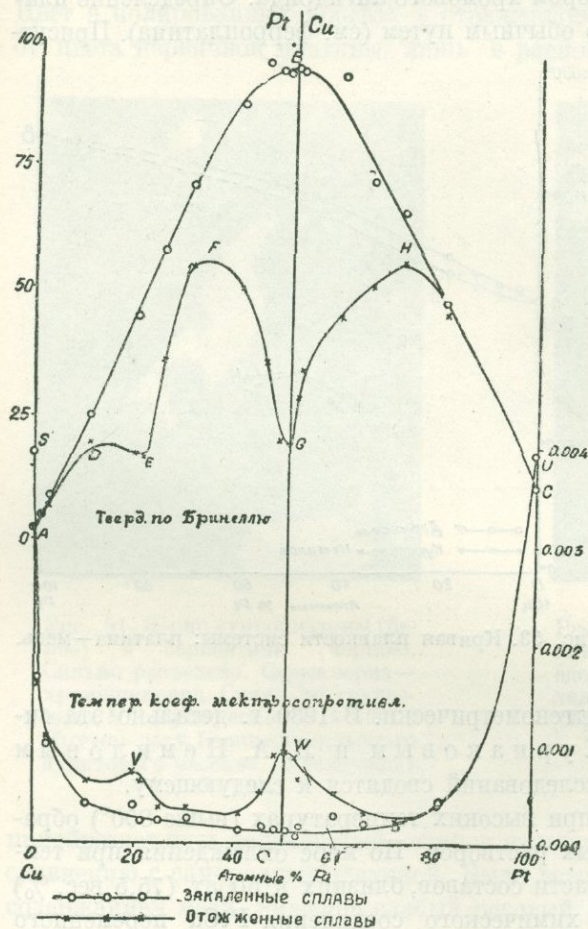


Рис. 54. Кривые твердостей и температурных коэффициентов электросопротивления для системы: платина — медь.

50 ат. %, несмотря на сходство со структурными особенностями искусственных сплавов, отличается тем, что она изотропна. Это обстоятельство, по видимому, обуславливается значительным содержанием, кроме меди, железа (до 17 вес. %). Поэтому изучение тройной системы платина — железо — медь является чрезвычайно желательным.

В условиях выветривания, как удалось изучить, медистая платина подвергается химическому метаморфизму. Медь в значительной мере окисляется и на ряду с этим выделяется более или менее чистая платина

(если судить по реакциям и физическим свойствам), приобретающая коллоидное строение.

26. Никелистая платина (Pt, Fe, Ni)¹

Кристаллографическое описание

Точно так же, как и купроплатина, эта разновидность возникает в виде реакционных кайм в выделениях самородной платины. Самостоятельных

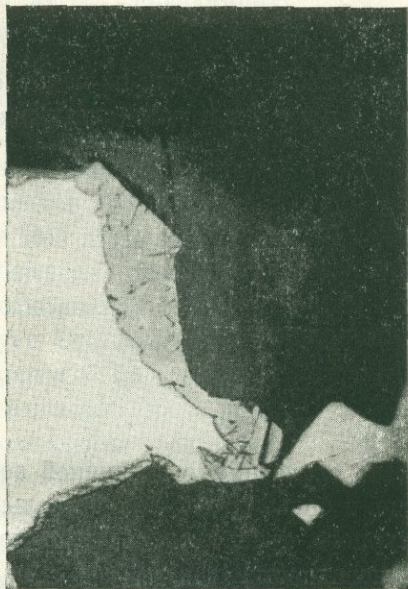


Рис. 55. Каемки никелистой платины (слегка сероватые) по периферии зерна первичной платины (белое) с повышенным содержанием растворенного в ней иридия. Темносерый окружающий фон — хромшпинелид. Месторождение — «Госшахта» Нижне-Тагильского дунитового массива. Увеличено в 150 раз.



Рис. 56. Каемки никелистой платины с полисинтетически двойниковым строением. Темные участки среди них — купроплатина. Серый окружающий фон — хромшпинелид. Центральная часть зерна — первичная платина; обнаруживает так называемую спайность травления (закономерно расположенные штрихи). Протравлено смесью $\text{HCl} + \text{CrO}_3$ (50%). Месторождение — «Госшахта». Увеличено в 180 раз.

кристаллов не наблюдалось. Характеризуется она часто тонкой двойниковой параллельной штриховкой и более ровной, гладкой поверхностью травления (рис. 55 и 56).

Принадлежит, повидимому, к кубической системе, если судить по оптической изотропности минерала. Рентгенометрических исследований пока произведено не было.

¹ Эта разновидность метаморфической платины была открыта А. Г. Бетехтиным также при минералграфическом изучении коренных платиновых руд. Химически точно доказана путем фракционного анализа Б. Г. Карповым.

Физические свойства

Твердость средняя — около 4. Блеск металлический. По цвету в полированных шлифах совершенно не отличается от цвета первичной платины. Наблюдается иногда спайность, повидимому, по (111).

Удельный вес пока определить не удалось.

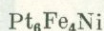
Явно магнитных свойств обнаружено не было.

Химическая характеристика

Химический состав, повидимому, сильно колеблется. Один из наиболее полных анализов, произведенных Б. Г. Карповым дает следующие цифры:

Pt	Ir+иридие- вая чернь	Fe	Ni	Cu	Сумма
73,68	7,48	13,63;	3,17;	2,14;	100,10%

В пересчете на химическую формулу мы получаем:



Содержание Ni во вторичной платине, по сравнению с первичной возрастает, примерно, в 4—6 раз, но, вероятно, и больше, так как, насколько можно догадываться по данным структурного травления, существуют, повидимому, и более богатые никелем разновидности.

Медь в этой разновидности платины по всей вероятности находится в твердом растворе. Однако, в образцах более богатых медью удавалось устанавливать наличие двух разновидностей вторичной платины, одна из которых травилась чрезвычайно легко и, возможно, относилась к купроплатине. На основании данных минераграфического исследования создается впечатление, что никелистая разновидность легче образуется на месте самородной платины, более богатой иридием, тогда как медистая, — наоборот, больше бывает связана с поликсеном, содержащим незначительное количество иридия. Здесь безусловно необходимы рентгенометрические исследования.

В царской водке никелистая платина растворяется сравнительно легко, лишь несколько труднее, нежели купроплатина. Наилучшим реагентом для структурного травления служит также смесь (1:1) соляной кислоты с 50% раствором хромового ангидрида.

Физико-химическая характеристика

Систематическое исследование сплавов платины с никелем было произведено Н. С. Курнаковым и В. А. Немиловым, с по-

мощью термического анализа, измерения твердости, микроструктуры и температурного коэффициента электросопротивления. Результаты этих исследований (рис. 57) показали, что сплавы платины с никелем образуют непрерывный ряд твердых растворов. Изгиб на кривой твердости для отожженных сплавов в области около 20 ат. %, повидимому, свидетельствует о наличии двух твердых растворов: до и свыше 20 ат. % Pt. Возможно, что на границе этих двух сплавов при температуре 350° имеет место превращение немагнитной модификации в магнитную. Это превращение, правда, не сказалось совершенно на кривых охлаждения вследствие весьма незначительного термического эффекта. Изучение микроструктуры сплавов с содержанием около 20 ат. % Pt показало тонкую параллельную штриховатость внутри зерен агрегата. Это обстоятельство как раз, повидимому, и говорит за перекристаллизацию твердого раствора, вследствие его превращения. Рентгенометрических исследований сплавов произведено не было.

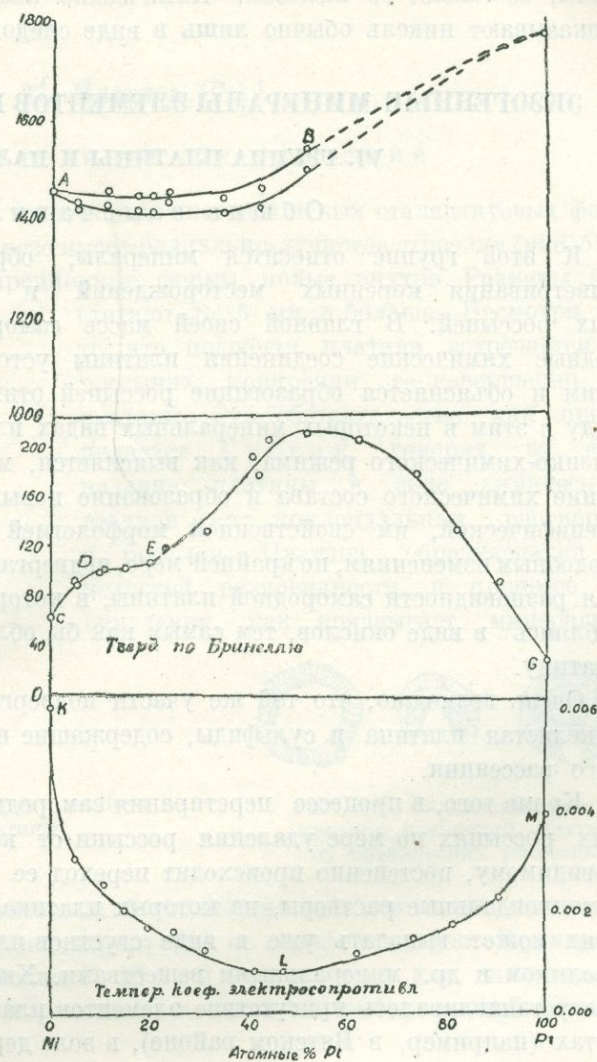


Рис. 57. Кривые плавкости, твердости по Бринеллю и температурных коэффициентов электросопротивления для системы: платина — никель.

В природной никелистой платине нам не приходилось встречать подобных концентраций никеля. Однако, параллельная тонкая штриховатость, а также полисинтетические двойники распространены широко. Правда, они обусловлены, вероятно, не только содержанием никеля, а также и железа и может быть до некоторой степени меди.

Поведение никелистой платины в условиях выветривания месторождений не удалось изучить. Не исключена возможность, что никель в этих условиях, также как и медь, уходя при окислении из самородной платины, обогащает её железом. Химические анализы россышной платины показывают никель обычно лишь в виде следов.

С. ЭКЗОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

VI. ГРУППА ПЛАТИНЫ И ПАЛЛАДИЯ

Общие замечания

К этой группе относятся минералы, образующиеся в условиях выветривания коренных месторождений и образования платиноносных россыпей. В главной своей массе самородная платина и природные химические соединения платины устойчивы в этих условиях. Этим и объясняется образование россыпей этих минералов. Однако, наряду с этим в некоторых минеральных видах платины в условиях нового физико-химического режима, как выясняется, может происходить изменение химического состава и образование новых минеральных видов со специфической, им свойственной морфологией минеральных агрегатов. Подобным изменениям, по крайней мере, подвергаются палладистая и медистая разновидности самородной платины, в которых палладий и медь, обособляясь в виде окислов, тем самым как бы облагораживают самородную платину.

Очень возможно, что той же участи подвергается стибнопалладинит, никелистая платина и сульфиды, содержащие платину в состоянии атомного рассеяния.

Кроме того, в процессе перетирания самородной платины в аллювиальных россыпях по мере удаления россыпи от коренного месторождения, повидимому, постепенно происходит переход ее в суспензию и возможно в коллоидальные растворы, из которых платина в соответствующих условиях может выпасть уже в виде сгустков или абсорбируется глиной, каолином и др. минеральными веществами. Химическими анализами не раз устанавливалось присутствие элементов платиновой группы в фосфоритах (например, в Вятском районе), в золе деревьев из некоторых платину содержащих районов и в ископаемом угле (одного из австралийских месторождений) и даже в значительных количествах. В ничтожных количествах содержание платины было обнаружено и в морской воде.

Минералы элементов платиновой группы экзогенного происхождения встречаются во многих местах Бразилии, о. Борнео, Катанге (Центральная Африка), Мексике и др. В окисленных зонах коренных месторождений платины также было доказано образование новых минеральных видов за счет изменения химического состава минерала при выветривании (Урал, Южная Африка).

В эту группу следует отнести следующие минеральные виды платины: платина (химически почти чистая), палладистая платина, палладий и палладит. Возможно, что существуют и другие промежуточного состава разновидности.

27. Платина (Pt)¹

Морфологическое описание

Этот минеральный вид встречается иногда в ясных сталактитовых формах (рис. 58), причем в разрезе имеет радиально-лучистое строение (рис. 59). Наблюдаются также конкреционные формы, полые внутри. Размеры достигают до 5 мм и больше. Несмотря на то, что подобная платина встречается в россыпях, конкреции ее совершенно не окатаны. Это обстоятельство, как предполагает Гуссак, говорит за выпадение платины в виде химических осадков из коллоидальных растворов в россыпи. Платина, образующаяся из медистой разновидности в процессе ее окисления, как показывает минерагра-

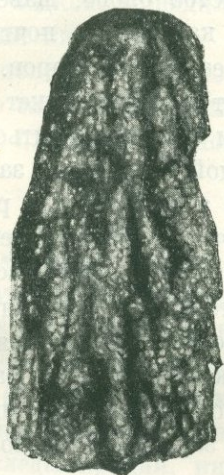


Рис. 58. Сталактитовая форма выделенной самородной платины.



Рис. 59. Радиально-лучистое строение конкреций платины из бразильских россыпей.

фическое изучение, первоначально обособляется в виде концентрических зон, причем новообразования концентрируются по периферии зерен. Примерно, подобная же картина описана Г. Шнейдерхеном для палладистой платины из выветрелого пироксенита в одном из месторождений Южной Африки.

Физические свойства

Для этого минерального вида физические свойства не были специально изучены. На основании минераграфических исследований твердость этой платины можно отнести к средней: около 4. Блеск металлический, цвет белый. Излом неровный. Удельный вес неизвестен. Перед паяльной трубкой, по видимому, не плавится.

¹ Открыта была Волластоном в 1803 г.

Химическая характеристика

По химическому составу она представляет собой почти 100%-ю платину. Правда, это по всей вероятности относится к той платине, которая образовалась в результате разрушения палладистой платины, обычно не содержащей железа. Что же касается платины, образующейся из медной разновидности, то возможно, что ее состав не будет отвечать химически чистой платине. В ее составе, возможно, принимает участие железо, иридий и может быть и другие элементы.

Отношение к химическим реагентам такое же, как и химически чистой платины. Из реагентов на нее действуют царская водка и разные смеси, которые выделяют *in situ nascendi* хлор.

Восстановление платины из различных растворов происходит сравнительно легко. Многие реагенты, такие как хлористое олово, щавелевая кислота, уксусные соли железа, а также уголь, карбонаты, почти все более электроположительные металлы осаждают ее из растворов. При действии некоторых органических и других кислот платина может переходить снова в коллоидальные растворы. Суспензии могут получиться и в результате механического измельчения самородной платины за счет истирания в процессе передвижения в россыпи. В аллювиальных россыпях при промывке сносится нередко большое количество мельчайшей пылеобразной платины, которую на Урале называют «бусом». Что касается суспензии, то последняя, хотя и несомненно присутствует в россыпях, естественно не может быть уловлена обычными способами обогащения платины. Коагуляция, т. е. образование сгустков из коллоидальных растворов, может вызываться различными кислотами, щелочами, солями, играющими роль электролитов, и, наконец, положительно заряженными коллоидами (например, гидроокислами железа).

28. Палладистая платина (Pt, Pd)

Выше мы уже разобрали одну разновидность палладистой платины, образующуюся при эндогенных процессах. Здесь имеется в виду также палладистая платина, но возникающая как минеральный вид в экзогенных условиях.

Морфологическое описание

В морфологическом отношении эта разновидность во многом напоминает вышеописанную платину, как минеральный вид экзогенного происхождения. Она встречается в подобных же сталактитовых и конкреционных образованиях в тех же бразильских россыпях. Сюда же следует отнести и ту палладистую платину, которая характеризует собой промежуточную стадию выветривания палладистой платины Южно-Африканских месторождений платины. Там химическими анализами установлено, что платина из зоны окисления содержит значительно меньшее количество палладия, нежели коренная платина, и при травлении в полированных шлифах обнаруживает концентрически зональное строение.

Физические свойства

Твердость этой разновидности средняя (около 4). Блеск сильный, металлический. Цвет белый или стальносерый. Излом неровный. Удельный вес точно неизвестен. Перед паяльной трубкой не плавится.

Химическая характеристика

Химический состав этой платины не постоянен. В общем его можно выразить следующими цифрами:

Pt	Pd	Ir	Fe
73—84;	3—21;	0—3;	следы

По отношению к химическим реагентам наша палладистая платина ведет себя одинаково с эндогенным ее аналогом. Легко разлагается слабой царской водкой. Повидимому, частично действуют на нее азотная, серная и соляная кислота.

В окисленной зоне месторождений является не очень устойчивой. Постепенно за счет окисления палладия в виде палладита переходит в более богатую платиной разновидность.

29. Палладий (Pd)

Этот минеральный вид экзогенных минералов платиновой группы нельзя считать точно установленным. Он наблюдался в тех же бразильских россыпях как будто бы в виде сталактитоподобных форм с удельным весом 11,3—11,97. В виде мелких шариков палладий был найден также в Австралии (в Новом Южном Уэльсе).

По химическим анализам он содержит в себе также золото, серебро, иногда следы иридия, иногда медь.

30. Палладит (PdO)

Это единственный известный в природе окисел из элементов платиновой группы.

Об этом минерале очень мало что известно. Он возникает как продукт окисления палладия и палладистой платины. Наблюдался в виде бурой охристой массы.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

I. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

Месторождения минералов платиновой группы, как мы видели, могут образовываться в самых разнообразных геологических условиях, подчиняясь определенным геохимическим закономерностям, которые свойственны каждому данному этапу геологических процессов. Совершенно естественно поэтому, что эти закономерности обуславливают морфологию месторождений, текстурные особенности руд, их вещественный состав, выражающийся в различных парагенетических группировках элементов и минералов и степени концентрации их.

Классификацию главнейших месторождений можно выразить в виде следующей таблицы:

Класс	Тип месторождений	Геологические условия образования месторождения	Характеристика морфологических особенностей и парагенетических группировок минералов
Магматический	<p>I. Уральский тип. Выделение самородной платины и осмистого иридия в ультраосновных магмах при процессах их расщепления и концентрации металлогенных элементов.</p>	<p>A. В глубинных габбро-перидотитовых массивах лакколитового характера:</p> <p>а) среди дунитов, главным образом в последние стадии кристаллизации вместе с сегрегациями хромшпинелидов.</p> <p>б) В оливиновых диалитах или собственно перидотитах и пироксенитах.</p> <p>В. В эффузивных породах базальтовой магмы (в пироксеновых порфиритах, оливиновых диабазах и базальтах).</p>	<p>Теснейший парагенезис с хромшпинелидами, образующими шпирообразные, штокообразные и жилеобразные тела. Платина, как правило, ксеноморфна по отношению к хромшпинелидам.</p> <p>Кристаллизуются среди силикатовых пород, иногда среди титаномангнетитовых сегрегаций. Платина обычно ксеноморфна по отношению к силикатам.</p> <p>В виде рассеянных выделений иногда в ассоциации с магнетитом, содержащим хром и титан.</p>

Класс	Тип месторождений	Геологические условия образования месторождения	Характеристика морфологических особенностей и парагенетических группировок минералов
Магматический	II. Тип Седбери. Выделения сернистых, мышьяковистых и сурьмянистых соединений, главным образом платины и палладия среди основных пород	<p>A. В глубинных габбро-норитовых массивах лополитового характера (Бушвельдский комплекс и др.)</p> <p>B. В эффузивных аналогах (например, в Норильских пирротиновых диабазах).</p>	В ассоциации с пирротином, пентландитом, халькопиритом, иногда кубанитом, никель содержащим пиритом, хромшпинелидами, магнетитом и др. в виде сплошных и вкрапленных рудных тел, различных форм и размеров
Пегматито-пнеуматолитовый	<p>I. Пегматитовый тип месторождений сперрилита и др. платиновых металлов. (Ю. Африканский тип)</p> <p>II. Контактного - метасоматического типа месторождений сперрилита, стибнопалладинита, иногда порпечита, палладистой платины и др. (Ю. Африканский и Бразильские типы)</p>	<p>B. В продуктах отщепления основных платиновых магм.</p> <p>A. В контактах доломитизированных пород с основными платиносными магмами в глубинных условиях.</p> <p>B. В контакте гранитной магмы с доломитизированными породами.</p>	<p>Сперрилит, стибнопалладинит и др. в ассоциации с пирротином, халькопиритом и др.</p> <p>Сперрилит, стибнопалладинит и другие в скарнах с сульфидами: халькопиритом, кубанитом, пирротином и др.</p> <p>Золото, порпечит, палладистая платина, платинистое золото и др. в ассоциации с типичными скарновыми минералами, иногда с сульфидами.</p>
Гидротермальный	Тип кварцевых жил, иногда золотоносных и сульфидоносных	Геологические условия образования мало изучены	Осмистый иридий, платина в ассоциации с золотом, иногда различными сульфидами, изредка с оригинальным парагенезисом (гематитом, хромовой слюдой, халцедоном и др.) в типичных жилах.
Супергенный	<p>I. Месторождения платиновых минералов в зоне выветривания</p> <p>II. Месторождения осадочные (россыпи и конгломераты), содержащие минералы платиновой группы в качестве кластического материала).</p>	<p>В зоне окисления платиносных рудных месторождений</p> <p>В условиях переотложения остаточных минералов при выветривании коренных месторождений</p>	<p>Минералы группы платины, возникающие в процессе окисления некоторых первичных минералов (палладистой, медистой, никелистой платины и др.) в виде колломорфных образований.</p> <p>Концентрация остаточных платиновых минералов с прочим кластическим, химически устойчивым материалом, главным образом, кварцем, магнетитом, хромшпинелидами и др.</p>

II. ОБЩИЙ ОБЗОР РАСПРОСТРАНЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В СССР

Урал

Крупнейшие месторождения металлов платиновой группы представлены на Среднем и Северном Урале среди габбро-перидотитовых массивов, образующих единую металлогеническую провинцию (см. приложение I). Здесь мы имеем огромные чистоплатиновые россыпи, приуроченные к выходам ультраосновных пород. Это будут следующие районы (в порядке с юга на север):

1. Сысертский район (к югу от Свердловска). Россыпи находятся по рч. Смутной. Промышленных коренных месторождений пока не открыто.

2. Нижне-Тагильский район с россыпями по системам рч. Мартьяна, Шайтанки, Висима, Чаужа и Бобровки (на восточном и западном склонах Урала). Открыты многочисленные мелкие коренные месторождения платины в дуните в связи с скоплениями хромистых железняков.

3. Баранчинский район с россыпями по рч. Шумихе, Каменкам, Бельничке, Орулихе и др.

4. Исовский район с самыми крупными россыпями по системам рч. Иса, Туры и Вый, а также по М. и Б. Каменушкам и Нясымы. Известно несколько коренных месторождений платины.

5. Кытлымо-Косьвинский район с россыпями по системам рч. Иова, Кытлыма, Лобвы, Тылая и М. и Б. Косьвы. В последнее время открыты также небольшие коренные месторождения.

6. Заозерский район (район Денежкина Камня) с россыпями по рч. М. и Б. Сольве, Супрее и др.

Как известно, эти районы играют наиболее крупную роль в мировой добыче платиновых металлов.

Химические составы самородной платины с рассмотренных районов Урала не совсем идентичны между собой. Как это видно из сравнительной таблички, приводимой ниже (см. главу об анализах), платина из Сысертского и Кытлымо-Косьвинского районов характеризуется значительным содержанием включений осмистого иридия. Платина Исовского и Заозерского районов отличается наибольшим содержанием платины и наименьшим — железа. Наиболее бедная железом платина принадлежит Сысертскому району. Наоборот, Н.-Тагильский округ богат ферроплатиной.

В остальных районах Урала россыпи платины и осмистого иридия несравненно беднее, хотя генетически также связаны в основном с выходами ультраосновных пород, правда, не относящихся к рассмотренной платиноносной зоне. Сюда должны быть отнесены массивы змеевиков, пироксеновых перидотитов и основных пород так называемой «восточной полосы» Урала, включая и Южный Урал. Эти массивы по своему геологическому

строению и петрографическим особенностям несколько отличны от тех, к которым приурочены промышленные месторождения платины. Эти массивы пользуются на Урале широким распространением на всем его протяжении, начиная от Полярного Урала и кончая южными его отрогами, уходящими в Киргизскую степь.

На Полярном Урале среди огромнейшего перидотитового массива Рай-Иза (в 60 км к западу от Обдорска) при разведках на платину А. Г. Бетехтиным в районе рч. Конгор (южная оконечность Рай-Иза) в одном из шурфов были обнаружены признаки платины в полученных шлихах.

Химические анализы, произведенные Б. Г. Карповым, подтвердили наличие платины в шлихах.

Южнее Рай-Иза тянется громадный перидотитовый массив Пай-Яр. Месторождений платины пока констатировано не было. В бассейне р. Сев. Сосьвы (рч. Арвынья, впадающая в р. Ляпин) в свое время также была обнаружена платина, а по рч. Секурье — осмистый иридий, повидимому, в золото-платиновой россыпи.

Затем платиновые металлы вместе с золотом были найдены и даже разрабатывались по правым притокам р. Лозьвы (Ушма, Тошемка, Вижай, Ивдель и др.), а также на западном склоне в верховьях р. Печоры. Платина происходит из пород габбро-пироксенито-перидотитовой формации в хребтах Хой-Эква, Чистой, Салатим.

В Богословском округе во многих золотоносных россыпях содержится примесь платины и осмистого иридия (р. Сосьва, Калья, Вагран, Ильинка, Дашше, Мальцева, Усольцева, Шитовка, Гремиха, Атюс, Чапа, Заболотная, Каменка, Ларьковка, Григорьевка, Турья, Каква с Гаревой и Каменкой, Песчанка и др.). Здесь россыпи очень мало связаны с местными выходами ультраосновных и основных пород. В основном платина, повидимому, снесена с западных платиноносных массивов. Кроме того, в окрестностях Турьинских рудников сухой пробой платина была определена в кварцевых золотоносных жилах (так называемых «Доронинских шурфах»). В пределах «Устейского горста» на Коптяковском медном руднике была встречена платина в коренном залегании среди прожилков асбеста и брусита.

В районе Вагранской 1-й дачи платина также попутно с золотом добывается из россыпей многих речек в бассейнах нижних течений р. Ляли (рч. В. и М. Падья, Ермаковка, Денисовка, Мурзинка, Серебрянка, Оленья Травянка, Каменка, Половинная, Ольгинская, Мельничная, Яборовка и др.), Лобвы (рч. Рыбная, Мысовая, Северка, Безымянная, Большая и Крутая Латы, Воскресенка, Родничная, Катасьма, Медянка, Серебрянка, Ивановка и др.). Хотя в этом районе также имеются выходы змевиковых массивов, но главная масса платины, вероятно, является снесенной с запада, с платиноносных массивов Урала.

Примерно, такую же картину имеем и в бассейне рр. Туры и Тагила в пределах Кушвинской Верхне- и Нижне-Туринских, Знаменской да-

чах и Нижне-Тагильского округа. Тот факт, что платина встречается и по притокам р. Туры, не берущим свое начало с западных платиноносных массивов (рч. Актай, Таблица, Емех и др.), точно так же, повидимому, говорит о широком распространении древнего аллювиального покрова за счет платиноносных пород перевала. Кроме того, платина и особенно осмистый иридий здесь в той или иной мере генетически связаны и с местными обширными выходами змеевиковых пород; правда, в основном платиновые металлы в этих россыпях встречаются как примесь к золоту. В бассейне р. Туры они наблюдались по системе р.левой Вый, с рч. М. и Б. Чирком, по системе р. Айвы с рч. М. Серьей, р. Салда с рч. Кушайкой, Черной; Нивой, Рачищей и др. Имеется указание о том, что платина была открыта в коренном месторождении Спасо-Серноколчеданного рудника в пирите.

В бассейне р. Тагила платина и осмистый иридий встречаются в рч. Мака, Кончаша, Ломовка, Винновка, Есьва, верховья Катабы, Вятихи, верховья р. Салды, рч. Прикащице, Нелька, М. Кушва, верховья Шайтанки и др.

Далее, на продолжении змеевиковых массивов к югу в пределах Невьянского округа¹ мы имеем более значительные месторождения осмистого иридия. В этом отношении заслуживает внимания бассейн рч. Нейвы с притоками Виллой, 1, 2 и 3 Режики, Б. и М. Быньга, верховья рч. Северной Шуралы с притоками Б. и М. Шарники. Весь этот район в основном является золотоносным, металлы платиновой группы встречаются главным образом в виде примесей. Повидимому, в этом районе имеют место и коренные месторождения осмистого иридия, поиски которых в последние годы производились А. А. Ивановым.

В Свердловском районе (в пределах б. дач Верхне-Тагильской, Верхне-Нейвинской, Билимбаевской, Монетной, Режевской, Васильево-Шайтанской, Нижне-Исетской, а также в Егоршинском районе и др.) имеется также ряд змеевиковых массивов. В золотоносных россыпях системы р. Нейвы, Шишима, а также притоков р. Чусовой и Исети встречались в виде примеси металлы платиновой группы, в частности осмистый иридий. Месторождения золота связаны с кварцевыми и колчеданными жилами.

К югу от этого района в пределах дач Верхнеуфалейской, Нижне-Сергинской, Каслинской, Кыштымской и Миасской осмистый иридий и платина также попутно добывались вместе с золотом из россыпей, связанных со змеевиковыми массивами. Эти россыпи залегают в верховьях р. Чусовой², В. Уфалея, Серги, Нязи, Б. и М. Маука, Вязовке, Кыштымам, в долине р. Миаса с рч. Аткус, Анненкой,

¹ Химические анализы невянскита из этого района см. ниже, в главе об анализах.

² Химический анализ рутениевого невянскита с рч. Красногорки (верховья р. Чусовой) приведен ниже (см. главу об анализах).

Иремелями¹, Ижембет, Черной, Сыростаном, Киолимом, рч. Сак-Элге с Рассыпной и др. Во всех этих россыпях платина происходит за счет разрушения змеевиковых (перидотитовых) массивов. Из осмистых придиив преобладает главным образом невьянскит. Встречается также придиистая платина. Но осмистый придий, кроме того, возможно, находится и в золотых месторождениях, так как на Царево-Александровском прииске был найден сросток осмистого придия с золотом.

Южнее Миасского района осмистый придий и платина встречались вместе с золотом в россыпях Уйской, Балбукской, затем Уральской, Миндякской групп, наконец, в районе хребта Ирындык. В этих районах были сделаны находки золота среди змеевиков. В восточной части Южного Урала точно так же имеются изолированные выходы змеевиков и связанные с ними находки платиновых металлов в россыпях, на пространстве между Челябинском, Верхне-Уральским и Троицком, а также на водоразделе левых притоков р. Урала и Тобола, наконец, в самой системе р. Тобола и южнее на землях станицы Могутовской (в системе р. Камышлы-Аят)². Имеются указания на нахождение осмистого придия в Джетыгаринском золото-рудном районе также в связи с перидотитовыми змеевиками.

На Урале мы имеем еще месторождения платины, связанные с артинскими конгломератами, представляющими собой прибрежную россыпь Пермского моря в Западном Приуралье. Подобные россыпи известны в бассейне р. Чусовой (рч. Полуденная Утка), в верховьях Бисерти, Сарги, Сылвы, системы рч. Боевской, Распахы и др.

Кавказ

На Кавказе минералы платиновой группы впервые были обнаружены в Закавказье, в системе р. Чороха в Батумском районе, затем в районе оз. Гокча (Севан) и в последнее время на северном Кавказе.

В системе р. Чороха платиновые минералы были встречены в золотоносных россыпях по рч. Тальгом-Су в окрестностях Сасун и в урочище Окрохана были найдены: осмистый придий, палладистое золото (порпечит), родистое золото (родит), придиистое золото³ и платинистое золото³. Вопрос о первоисточнике платиновых минералов пока остается неразрешенным. Сама рч. Тальгом-Су берет начало и протекает по гранитам, роговообманковым биотитовым и мусковитовым, пересеченным жилами сиенитов, диоритов и др. пород, а также кварцевыми жилами с вкрапленностью серного и медного

¹ Химический анализ рутениевого невьянскита с этого месторождения приведен в главе об анализах (см. ниже).

² Химический анализ платины с этого месторождения Южного Урала см. в главе об анализах.

³ См. главу об анализах.

колчеданов. В верховьях же р. Чороха имеются выходы ультраосновных пород после-мелового возраста.

В районе озера Г о к ч а вдоль его северо-восточного побережья тянется ряд перидотитовых массивов третичного возраста. В одном из образцов, собранных С. Е. Айвазовым с Надеждинского (Шорджинского) массива, А. Г. Бетехтиным была установлена самородная платина в полированных шлифах. Химический анализ части образца, произведенный Б. Г. Карповым, подтвердил содержание платины высокое.

Дальнейшие исследования образцов и россыпей этого района показали ничтожное содержание платиновых металлов и золота.

На Северном Кавказе имеется ряд змеевиковых массивов в бассейнах р. Б. и М. Лабы, Кубани, Малки и др. В самое последнее время, когда по системам этих речек были налажены золотодобычные работы, в качестве примеси к золоту во многих местах были обнаружены металлы платиновой группы: осмистый иридий и самородная платина.

Средняя Азия

В Средней Азии находки платиновых минералов сравнительно редки, хотя змеевиковые небольшие массивы встречаются довольно часто. Присутствие платины было констатировано в системе р. Или, рч. Кетмень. В 1923 г. открыта россыпь в районе западной оконечности Иссык-Куля с содержанием платины и осмистого иридия. Заявка на платину была сделана в свое время по золотоносной речке Ч а т к а л, впадающей в рч. Чирчик. Точных указаний на нахождение платины нет.

Платина наблюдалась также в верховьях рч. К а р а т а л ы и рч. С а ф е т - д а р ь я.

Сибирь

В Сибири самостоятельных промышленных месторождений металлов платиновой группы мы также пока не имеем. Большей частью платиновые минералы встречаются в виде спутников к золоту и др. минералам, главным образом в россыпях. В коренном залегании металлы платиновой группы известны среди так называемых «сибирских траптов» и в некоторых месторождениях гидротермального типа совместно с золотом. Повидимому, имеют место также и коренные месторождения платиновых минералов и в массивах ультраосновных пород. Россыпи осмистого иридия, по крайней мере определено во многих местах, связаны с этими массивами.

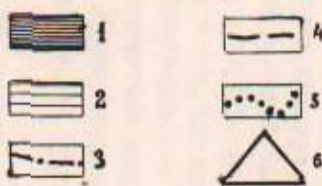
В самом общем виде для Сибири можно наметить две обособленные металлогенические провинции:

1) Металлогеническая провинция древнейших складчатых хребтов, где платиноносность приурочена к массивам ультраосновных пород и гидротермальным месторождениям, генетически связанным с кислыми интрузиями (юг и восток Сибири).

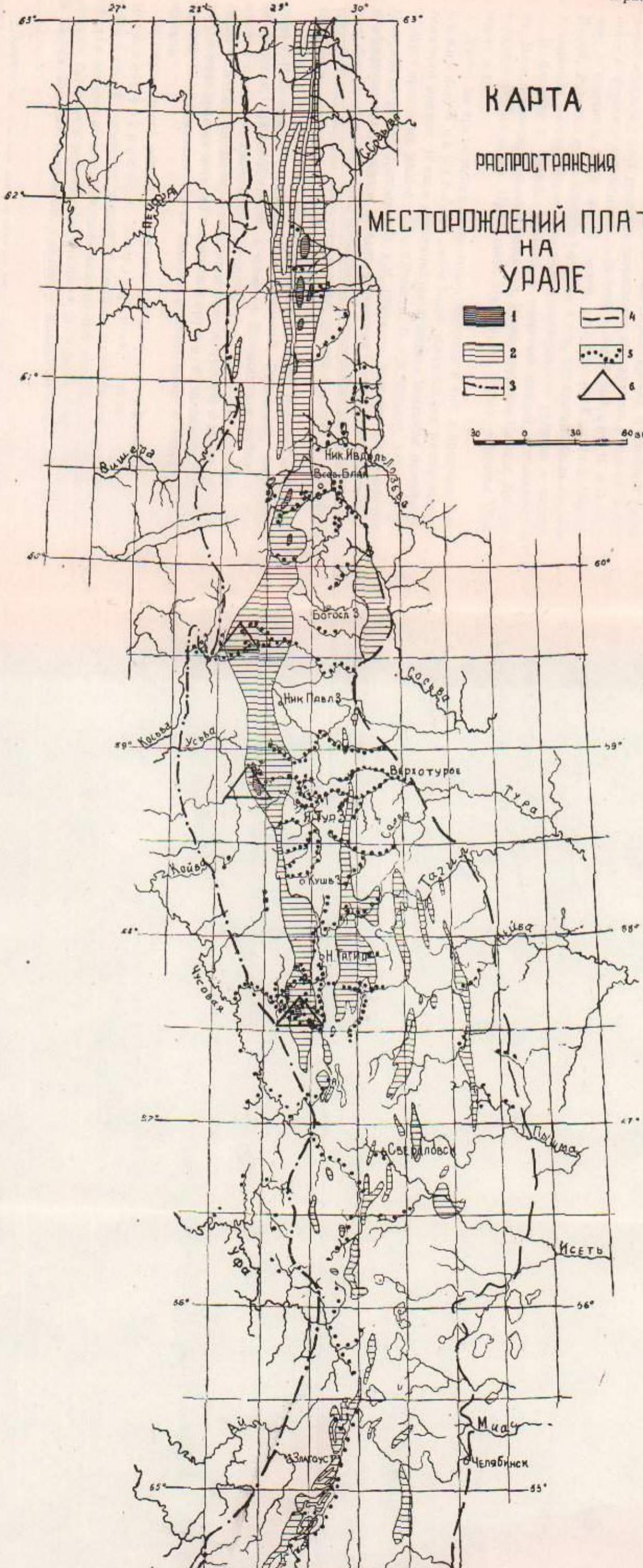
КАРТА

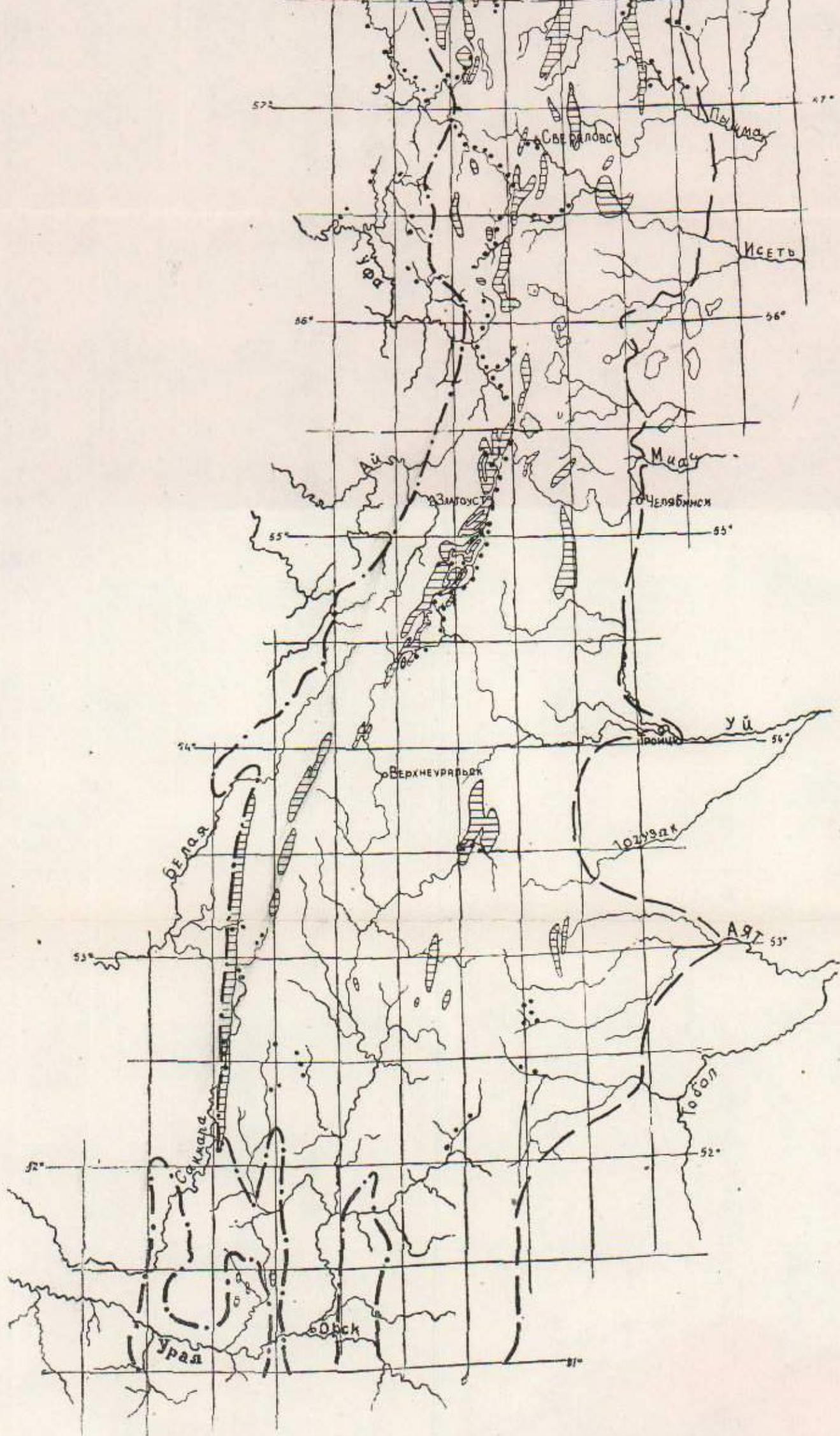
РАСПРОСТРАНЕНИЯ

МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНЫ НА УРАЛЕ



30 0 30 60 км





Объяснение условных обозначений: 1 — дуниговы платиноносные массивы; 2 — выходы ультраосновных и основных пород; 3 — западная граница распространения кристаллических пород; 4 — западная граница распространения третичных осадочных пород; 5 — россыпные месторождения металлов платиновой группы; 6 — коренные месторождения платины.

2) Металлогеническая провинция, отвечающая петрогенической провинции «сибирских траппов» (Среднесибирская платформа и Таймыр).

Из минералов в месторождениях Сибири наблюдались кроме ферроплатины, поликсена: иридистая платина, самородный иридий, осмистый иридий и сперриллит. В Норильском медноникелевом месторождении, повидимому, присутствует также палладистая платина и сернистые ее соединения. Из группы осмистых придиев встречался как невянскит, так и сысерскит, а также богатый рутением сысерскит и, вероятно, другие.

Вообще следует сказать, что Сибирь в отношении платиноносности месторождений изучена сравнительно слабо.

Перейдем к обзору месторождений по отдельным районам (см. приложение II). Рассмотрим вначале металлогеническую провинцию зоны складчатых хребтов в направлении с запада на восток.

В К а з а к с т а н е имеется ряд змеевиковых перидотитовых массивов. С некоторыми из них связаны находки платиновых металлов. Так, например, указывается на находки платины и осмистого иридия, в верховьях А б а р ч и - Б у л а к а, впадающего в оз. Тас-Чалкар (в урочище К о й - С а л г а н, Т у р а й г ы р, в золотых россыях рч. Джанысу, в верховьях которой наблюдались также выходы змеевика), в Чу-Илийских горах в урочищах Андас-Сай и Джамбыл, где геологическое строение габбро-перидотитового массива очень напоминает строение платиноносных массивов Урала. Затем присутствие платины наблюдалось в районе К а л б и н с к о г о х р е б т а в вершине рч. Д ж е н а м ы, Б у л к у л д а к, правда, не в непосредственной связи с перидотитовыми породами. Находки осмистого иридия и платины известны также в ряде пунктов Алтая, приуроченных к змеевиковым массивам, например, в системе рч. Катуни и Би, в верховьях рч. А к - К а б е (Южный А л т а й), К а я ч и¹, Н е н и, М а ш о г а н о и др. В С а л а и р с к о м кряже платина с осмистым иридием и кинноварью была встречена в россыях Егорьевских приисков по рч. Ф о м и х е, К а с ь м е, У р, Б а ч а т и др. Эти россыши непосредственно также не связаны с выходами ультраосновных пород.

В К у з н е ц к о м А л а т а у платина и осмистый иридий наблюдались во многих пунктах и в больших количествах, нежели в ранее рассмотренных районах. Попадались даже самородки платины. Прямой связи этих россыпей с массивами ультраосновных пород, которые, кстати сказать, здесь более широко развиты, пока не установлено.

Платиновые металлы наблюдались в россыях рч. Т а й д о н (приток р. Томи)², рч. В о д о п а д н о й (приток Баэнзаса), Н и ж н е й и С р е д н е й Т е р с и, А л е к с а н д р о в к и (приток Пезаса), в системе

¹ Химический анализ платины из этого месторождения см. в главе об анализах.

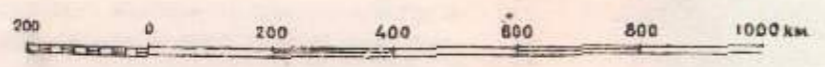
² Химический анализ платины из этих месторождений см. в главе об анализах.

КАРТА

МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНЫ

В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ СССР

Сост. Н. К. Высоцкий
1930г.



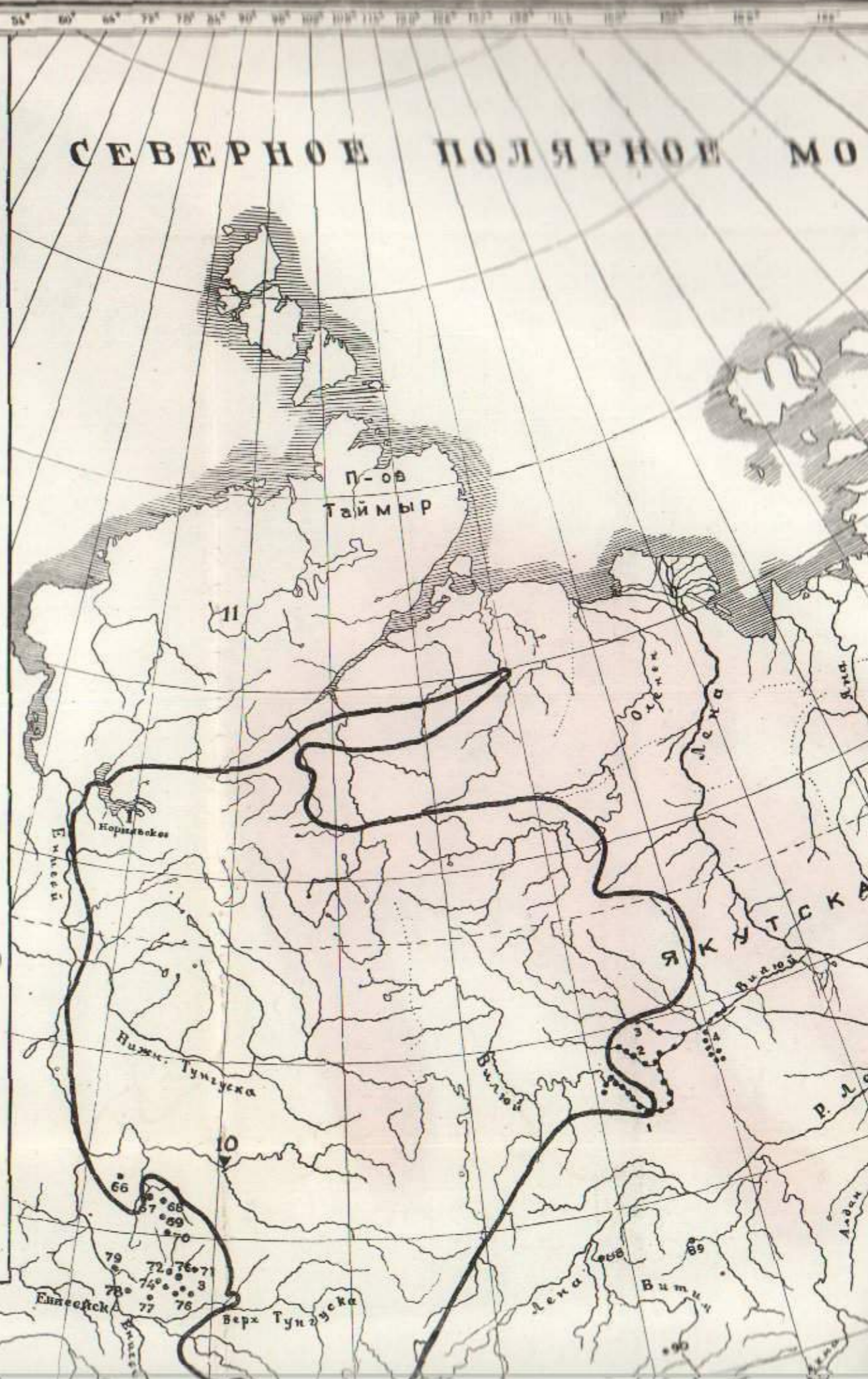
Коренные месторождения платиновых металлов (на карте обозначены треугольниками).

- | | | |
|--|---|--|
| 1. Норильское | 5. Боготольский голец (верховья рч. Урика?) | 8. Солегу-чайдан (басс. р. Удской Ман) |
| 2. Сары-адыр (Успенский медный рудник) | 6. Месторождение и верховья р. Ингоды | 9. Опалель (верховья р. Пенжиной) |
| 3. Змеиногорское (Рудный Алтай) | 7. Игакский ключ (басс. р. Осезины) | 10. Подкаменная Тунгуска (при устье р. Чунк) |
| 4. Богомдарованный рудник (в Кузнецком Алатау) | | 11. Р. Таймыра |

Примечание. Жирной линией обведена область распространения трансов.

Россышные месторождения платиновых металлов (на карте показаны кружочками).

- | | | | |
|---|---|--|---|
| Видойский район | 32. Басс. р. Томи: рч. Уса | 60. Верховья р. Оки: рч. Дибн | 89. Р. Жук (ниже впад. Сух. Хорлухтаха) |
| 1. Р. Вилой | 33. Басс. р. Томи: рч. Балыса | 61. Верховья р. Оки: рч. Сараха | 90. Кл. Агын |
| 2. Р. Ычетта | 34. Басс. р. Мрассы: рч. Б. Су-ста и др. | 62. Верховья р. Белой | 91. Верховья р. Олекмы |
| 3. Р. Марха | 35. Басс. р. Мрассы: рч. Корычлан | 63. Рч. Онот | Северо-Западное Приамурье |
| 4. Р. Тонго | 36. Басс. р. Кондомы: рч. Муджи, Кочура | 64. Верховья р. Китая | 92. Верховья р. Б. Олдоп |
| Казахстан | 37. Басс. р. Лебеди: рч. Б. и М. Коучан | 65. На склоне г. Петрушкиной (около г. Иркутска) | 93. Р. М. Олдоп: кл. Аичи |
| 5. Урочище Ной-Салган | 38. Басс. р. Саралы Июса: кл. Балпый и др. | Енисейский золотой край | 94. Рч. Певен (пр. Осезины) |
| 6. Урочище Турайгыр | 39. Басс. р. Черного Июса: рч. Мал. Инчул | 66. Рч. Таймонка (пр. Подк. Тунгуски) | 95. Р. Буринда |
| 7. Рч. Дженама | 40. Басс. р. Черного Июса: рч. Изекшюл | 67. Басс. р. Тен: рч. Нойба | 96. Р. Тында |
| 8. Рч. Булдулдан | 41. Басс. Белого Июса: кл. Железный | 68. Басс. р. Тен: рч. Енашино | 97. Р. Арба |
| 9. Рч. Каратала | 42. Басс. Белого Июса: рч. Баранджан | 69. Басс. р. Тен: рч. Огни | 98. Р. Уланга (пр. Зен) |
| 10. Рч. Кетмень | Западный Саян | 70. Басс. р. Тен: рч. Севаджикон | 99. Рч. Багана (пр. Зен) |
| 11. Рч. Кебин | 43. Рч. Барлык | 71. Басс. р. Б. Пита: рч. Горбилон | 100. Рч. Могот |
| 12. Рч. Чатвал | 44. Басс. р. Элегеса | 72. Басс. р. Б. Пита: рч. Аяхта | 101. Рч. Хугдер |
| 13. Рч. Сафег-дарлы | 45. Р. Тапса | 73. Басс. р. Б. Цига: рч. Кадра | 102. Кл. Орлиный |
| 14. Рч. Ак-лаба | 46. Верховья р. Сикстикема | 74. Басс. р. Б. Пита: рч. М. Ленгенга | 103. Рч. Амкан |
| 15. Рч. Калча | 47. Верховья р. Иликема | 75. Верховья р. Удерен: рч. Тыгун | 104. Верховья р. Депа |
| 16. Рч. Непи | 48. Р. Чинга | 76. Верховья р. Удерен: рч. Шараган | 105. Верховья р. Вома |
| 17. Рч. Магошаир | 49. Басс. р. Уса: рч. Золотая, Теплая и др. | 77. Верховья р. Б. Мурожной | Алданский район |
| 18. Пичугин ключ | 50. Басс. р. Уча: Мирской хребет | 78. Р. Сухой Пит | 106. Кл. Холодинкан (пр. Тымтона) |
| 19. Рч. Фомиха | 51. Верховья р. Амыла | 79. Кл. Точильный (пр. Б. Пита) | 107. Кл. Джегдали (пр. Тымтона) |
| 20. Рч. Касьма | 52. Безымянный ключ на Енисее | Забайкалье | 108. Рч. Диелинда |
| 21. Рч. Ур | 53. Рч. Б. Кызас (пр. Абагана) | 80. Басс. р. Джиды: рч. Хамней | Удский край |
| 22. Рч. Бачат | Восточный Саян | 81. Басс. р. Джиды: рч. Мартын-Шано | 109. Рч. Джана (пр. Уды) |
| Кузнецкий Алатау | 54. Басс. р. Кизира: рч. Чибьжен | 82. Басс. р. Катанцы: рч. Верея | Уссурийский край |
| 23. Басс. р. Ли: рч. В. Суста | 55. Басс. р. Кизира: р. Ширта | 83. Басс. р. Катанцы: рч. Долонгуй | 110. Около б. Импер. Гавани |
| 24. Басс. р. Кии: рч. Чебулым | 56. Р. Свелем | 84. Басс. р. Катанцы: р. Хилкотой | 111. Около оз. Ханка |
| 25. Басс. р. Кии: рч. Берикюль | 57. Рч. М. и Б. Терел | 85. Ключи на г. Бодо | Анадыйский край |
| 26. Басс. р. Кии: рч. Б. Кундат | 58. Рч. Тукша (пр. Кана) | 86. Верховья р. Кии | 112. Рч. Золотое дно |
| 27. Басс. р. Кии: рч. Кийский Шалгырь | 59. Верховья р. Бирюсы | 87. Рч. Гондыбой | 113. Рч. Осиновая |
| 28. Басс. р. Кии: рч. Таланова | | Олекминско-Витимский район | Верхошско-Колымский край |
| 29. Басс. р. Томи: рч. Тайдон, Н. Терсь | | 88. Р. Витим | 114. Урочище Чибгала (сист. р. Индигирки) |
| 30. Басс. р. Томи: рч. Средний Терсь | | | |
| 31. Басс. р. Томи: рч. Верхняя Терсь | | | |



ПЛАТИНЫ
ТИ СССР
КИЙ

СЕВЕРНОЕ ПОЛЯРНОЕ МОРЕ

800 1000 км

обозначены треугольниками).

- 8. Солегу-чайдак (басс. р. Удской Маи)
- 9. Опапель (верховья р. Пелжиной)
- 10. Подкаменная Тунгуска (при устье р. Чуны)
- 11. Р. Таймыра

трашлов.

рте показаны кружочками).

- р. Они: рч. Доби
- р. Они: рч. Сараха
- р. Белой

- р. Китан
- г. Петрушкиной (окоутока)

ский золотой край

нка (пр. Подк. Тун-

- Теи: рч. Нойба
- Теи: рч. Енашино
- Теи: рч. Огне
- Теи: рч. Севагдикон

- Б. Пита: рч. Горбилон
- Б. Пита: рч. Аяхта
- Б. Пита: рч. Кафра
- Б. Пита: рч. М. Лен-

- р. Удерей: рч. Тыгин
- р. Удерей: рч. Шараган
- р. Б. Мурожной

Пит

льный (пр. Б. Пита)

Забайкалье

- Дниды: рч. Хамней
- Дниды: рч. Маргып-

- Катанцы: рч. Верей
- Катанцы: рч. Долон-

- Катанцы: р. Хилкотой
- а г. Водо
- р. Кии
- ыбой

ко-Витимский район

м

- 89. Р. Жук (ниже впад. Сух. Хор-лухтаха)
 - 90. Кл. Агын
 - 91. Верховья р. Олекмы
- Северо-Западное Приамурье**
- 92. Верховья р. Б. Олдой
 - 93. Р. М. Олдой: кл. Аячи
 - 94. Рч. Невен (пр. Осейины)
 - 95. Р. Буринда
 - 96. Р. Тында
 - 97. Р. Арби
 - 98. Р. Уланга (пр. Зеи)
 - 99. Рч. Багана (пр. Зеи)
 - 100. Рч. Могот.
 - 101. Рч. Хугдер
 - 102. Кл. Орлиный
 - 103. Рч. Амкан
 - 104. Верховья р. Дена
 - 105. Верховья р. Бома

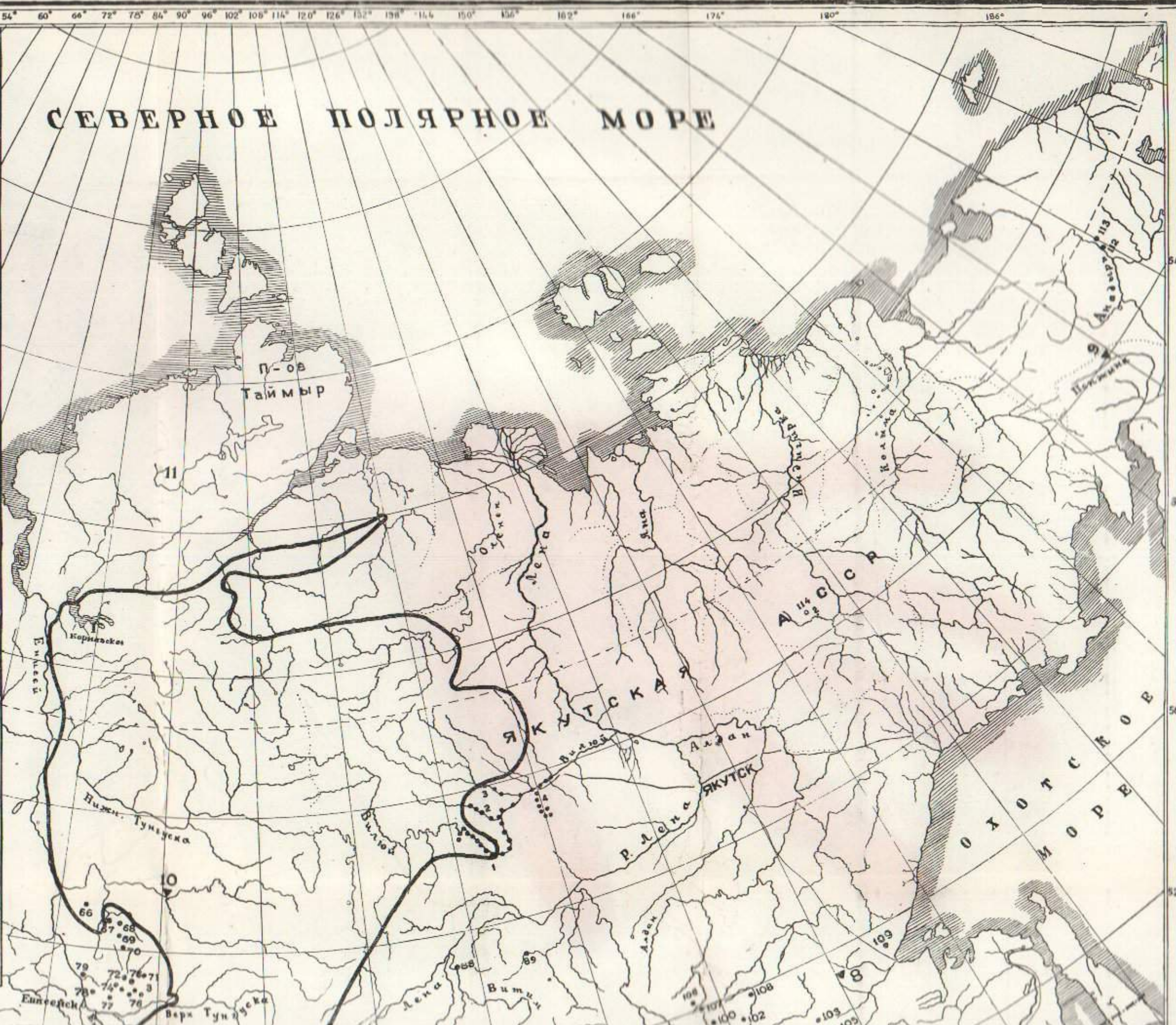
- Алдаицкий район**
- 106. Кл. Холодникан (пр. Тымтона)
 - 107. Кл. Диегдали (пр. Тымтона)
 - 108. Рч. Джеллида

- Удский край**
- 109. Рч. Джана (пр. Уды)

- Уесурийский край**
- 110. Около б. Импер. Гавани
 - 111. Около оз. Ханка

- Анадырский край**
- 112. Рч. Золотое дно
 - 113. Рч. Осинован

- Верхонско-Колымский край**
- 114. Урочище Чибгала (сист. р. Видигрини)



Енисей
Коряковский
Нижн. Тунгуска
Вилуй
Лена
Верх Тунгуска
Витим
Алдан
Вилуй
Алдан
Р. Лена
ЯКУТСК
ОХОТСКОЕ МОРЕ

Р. Марха
Р. Тоинго

Казахстан

Урочище Кой-Саалган
Урочище Турайгыр
Рч. Дженема
Рч. Будкулдак
Рч. Каратала
Рч. Кетмень
Рч. Кебин
Рч. Чаткал
Рч. Сафет-дарья
Рч. Ак-наба
Рч. Каяча
Рч. Нени
Рч. Магошаир
Пичугин ключ
Рч. Фомиха
Рч. Касьма
Рч. Ур
Рч. Бачат

Кузнецкий Алатау

Басс. р. Яи: рч. В. Суэта
Басс. р. Кии: рч. Чебулы
Басс. р. Кии: рч. Берикюль
Басс. р. Кии: рч. Б. Кундат
Басс. р. Кии: рч. Кийский Шалтырь
Басс. р. Кии: рч. Таланова
Басс. р. Томи: рч. Тайдон
И. Терсь
Басс. р. Томи: рч. Средняя Терсь
Басс. р. Томи: рч. Верхняя Терсь

ста и др.
35. Басс. р. Мрассы: рч. Корычлан
36. Басс. р. Кондомы: рч. Мундзи, Кочура
37. Басс. р. Лебеди: рч. Б. и М. Коучак
38. Басс. р. Саралы Июса: кл. Бан-ный и др.
39. Басс. р. Черного Июса: рч. Мал. Инчул
40. Басс. р. Черного Июса: рч. Ивэкиюл
41. Басс. Белого Июса: кл. Же-лезный
42. Басс. Белого Июса: рч. Ба-ранджан

Западный Саян

43. Рч. Барлык
44. Басс. р. Элегеса
45. Р. Тарса
46. Верховья р. Систикема
47. Верховья р. Иликема
48. Р. Чинга

Восточный Саян

54. Басс. р. Кизира: рч. Чыбыжек
55. Басс. р. Кизира: р. Ширта
56. Р. Сисим
57. Рч. М. и Б. Терел
58. Рч. Тукша (пр. Кана)
59. Верховья р. Бирюсы

63. Рч. Олот
64. Верховья р. Китар
65. На склоне г. Петрушкиной (око-ло г. Иркутска)

Енисейский золотой край

66. Рч. Тайменна (пр. Подг. Тун-гуски)
67. Басс. р. Теи: рч. Нойба
68. Басс. р. Теи: рч. Енашимо
69. Басс. р. Теи: рч. Огне
70. Басс. р. Теи: рч. Севагинтон
71. Басс. р. Б. Пита: рч. Горбилон
72. Басс. р. Б. Пита: рч. Алхта
73. Басс. р. Б. Пита: рч. Кадра
74. Басс. р. Б. Пита: рч. М. Лен-гонга
75. Верховья р. Удеря: рч. Тыгин
76. Верховья р. Удеря: рч. Шараган
77. Верховья р. Б. Муронной
78. Р. Сухой Пит
79. Кл. Тоцильный (пр. Б. Пита)

Забайкалье

80. Басс. р. Динды: рч. Хампей
81. Басс. р. Динды: рч. Маргин-Шано
82. Басс. р. Катанцы: рч. Веря
83. Басс. р. Катанцы: рч. Долон-гуй
84. Басс. р. Катанцы: р. Хилкотой
85. Ключи на г. Бодо
86. Верховья р. Кии
87. Рч. Гондыбой

Олекминско-Витимский район

88. Р. Витим

91. Верховья Олекмы
Северо-Западное Приамурье
92. Верховья р. Б. Олдой
93. Р. М. Олдой: кл. Лячи
94. Рч. Певен (пр. Осейины)
95. Р. Буринда
96. Р. Тында
97. Р. Арби
98. Р. Уланга (пр. Зеи)
99. Рч. Вагана (пр. Зеи)
100. Рч. Могот.
101. Рч. Хугдер
102. Кл. Орлиный
103. Рч. Амкан
104. Верховья р. Дена
105. Верховья р. Бома

Алдаиеский район

106. Кл. Холодникан (пр. Тымтона)
107. Кл. Диегдали (пр. Тымтона)
108. Рч. Джелинда

Удский край

109. Рч. Дивана (пр. Удм)

Уссурийский край

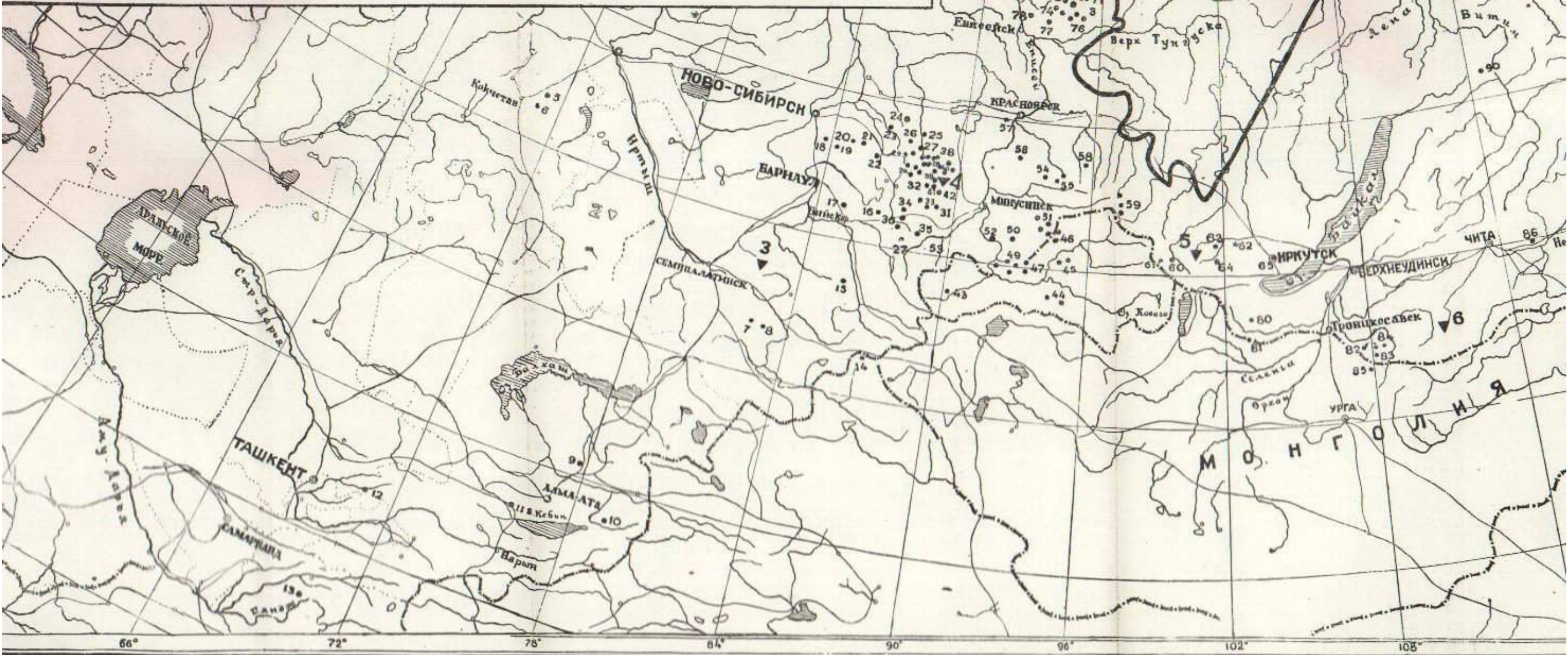
110. Оволо б. Импер. Гавани
111. Около оз. Ханка

Анадырский край

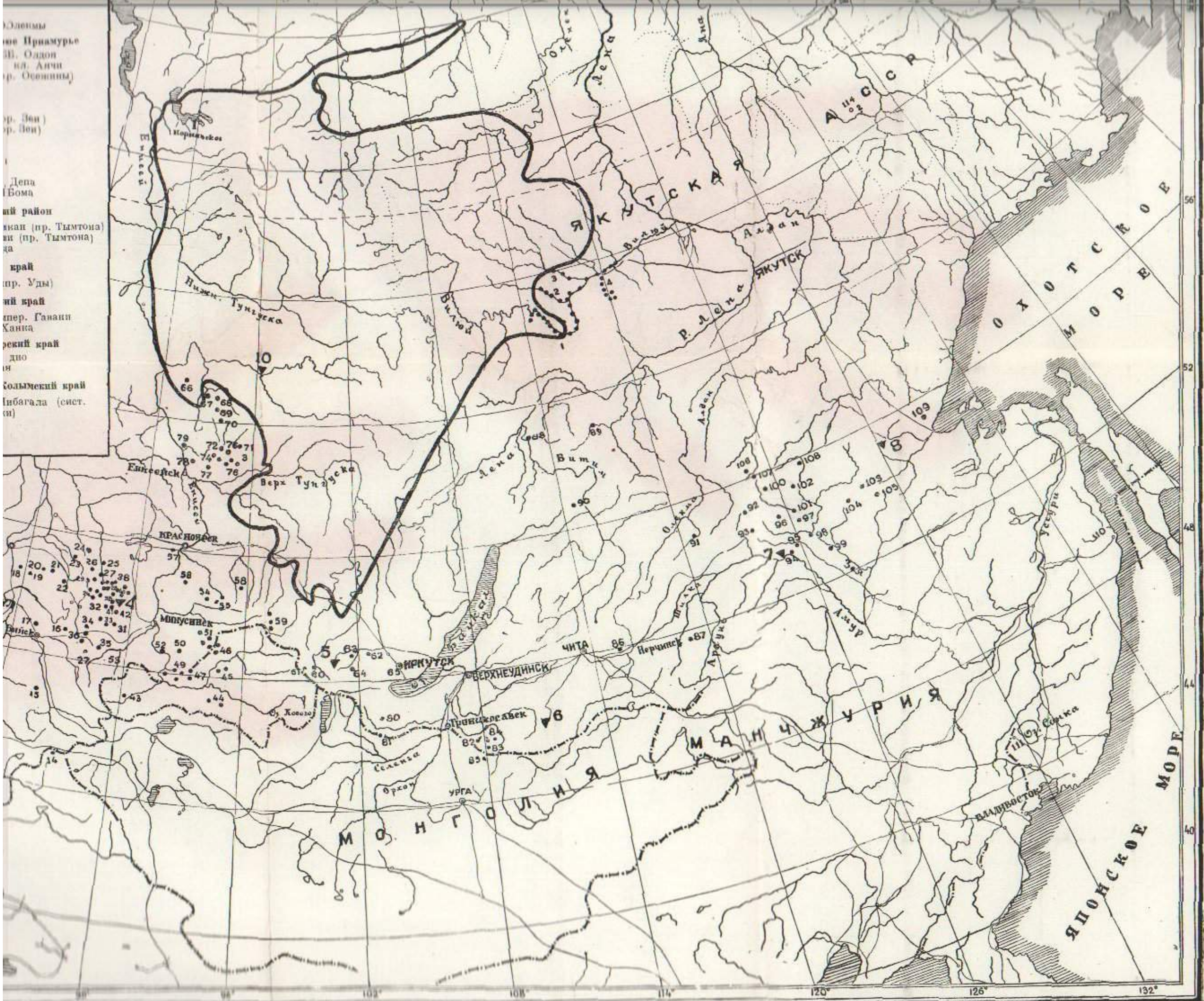
112. Рч. Золотое дно
113. Рч. Осиповал

Верхояноско-Колымский край

114. Урочище Чибгала (сист. р. Индигирки)



Олонны
 на Примурье
 III. Одон
 на Анчи
 (р. Обонина)
 (р. Зои)
 (р. Зои)
 Депа
 (Бома)
 ий район
 ван (пр. Тымтона)
 ни (пр. Тымтона)
 да
 край
 (пр. Уды)
 ий край
 шер. Гавани
 Ханга
 рекий край
 дво
 и
 Сольмекий край
 Ибагала (смет.
 и)



р. Усы, рч. Балыксы, системы рч. Мрассы, рч. Тягунешу (приток Мунгата), рч. Копдомы, рч. Муинджи, р. Лебеди (приток Бии), в системе рч. Яи, р. Кии, р. Талановой, системы Черного и Белого Июсов, в системе Саралы-Июса и др.

Но кроме этих находок в россыпях известно присутствие платиновых металлов и в коренных месторождениях гидротермального происхождения. Так, например, в Успенском медном руднике (Сары-адыр) в пробе, взятой В. Г. Орловским, оказалась платина. В рудах Змеиногорского месторождения на Алтае в свое время также было открыто содержание платины в электроуме.

В Кузнецком Алатау присутствие платины было констатировано в коренных кварцевых жилах с золотом. В Богомдарованном руднике, где в виде следов платина найдена в пирротинах (по анализу Б. Г. Карпова).

В Саянском горном районе присутствие минералов платиновой группы было обнаружено также во многих золотосодержащих россыпях и находится в связи с широким распространением оливино-пироксеновых пород. Из платиновых минералов здесь вообще преобладает осмистый иридий, пластинки которого иногда достигали 5 мм и даже 10 мм. Иногда встречались и крупные самородки платины, которые охотниками употреблялись в качестве пуль. Точное местонахождение россыпи с этими самородками не установлено.

В Западном Саяне россыпи, содержащие платиновые металлы, группируются вдоль главной водораздельной гряды, с северного склона которой берут свое начало верховья Амыла, левые притоки Уса, а с южного р. Систикема, Оджи, Уюка, Иликема с Серлихом¹, Юргунни и др. Затем в Урянхайском крае (к югу от Верхнего Енисея) примесь платиновых минералов известна в россыпях системы рр. Тайсы и Элегеса. Вдоль северных предгорий Западного Саяна платина встречалась среди золотоносных россыпей, залегающих по правым притокам Абакана (р. Кызас и др.).

В Восточном Саяне платиновые металлы наблюдались в золотосодержащих россыпях рч. Б. и М. Терел, Козыревой (притоков Бирюсы), а также в системе р. Сисима (правого притока Енисея), в системах р. Чибжека и Шиды с притоками Тартаяк и Павловкой, в верховьях р. Кана. Затем осмистый иридий и платина в более значительных количествах наблюдались в Бирюсинском районе, т. е. в верховьях р. Б. Бирюсы с притоком Тасеевой. Наконец, платина была встречена по левым притокам р. Ангары (верховья р. Оки), в системе р. Белой и в верховьях Китоя. В этих районах кроме выходов змеевиковых массивов имеются выходы траппов, а также кислых пород, обусловивших золотоносность районов и толщи метаморфических пород.

¹ Химический анализ платины и осмистого иридия, см. в главе об анализах.

В Енисейском Золотом Кряже минералы платиновой группы встречались в золотосодержащих россыпях в системе р. Подкаменной Тунгуски. Повидимому, здесь платиноносность связана с выходами трапшов.

Южнее, в россыпях Северной и Южной Енисейской тайги примесь платины к золоту наблюдалась во многих местах и находится в генетической связи, по всей вероятности, с выходами древнейших магматических и осадочных докембрийского возраста пород, обнажающихся в Енисейском Кряже. В северной тайге платина наблюдалась в системе р. Нойбы, р. Енашимо. По рч. Огнеи Севагликон наблюдалась даже придистая платина (или самородный иридий). В пределах Южной Енисейской тайги платина и осмистый иридий были встречены, главным образом, по левым притокам Б. Пита (рч. Габриловка, М. Печенга, Аяхта и др.) и в верховьях Удерея и Б. Мурожной.

В Прибайкальском Нагорье платина, хотя и редко, встречалась в целом ряде россыпей районов: Западно-Байкальском, Северо-Байкальском, Олекминско-Витимском¹, Баргузинском, Западно- и Восточно-Забайкальском. Выходы пород габбро-пироксенито-перидотитовой формации в этих районах встречаются редко.

В Западном Забайкалье россыпные месторождения осмистого иридия и платины в виде примеси к золоту известны в верховьях Джиды, по ее левым притокам рч. Хамнею, с Кутой, Даркентуам и др., а также по правым притокам Джиды: рч. Мартын-Шано², Хайкот, Хасуртай, с притоками Далон-Мадон и Гойногор, Шабартай с притоком Уленга и др. Платиноносность этого района связана с выходами перидотитов и змеевиков. В Чикойском золотоносном районе платина и осмистый иридий в системе рч. Хилкочен с притоком Б. Селезень, рч. И. Долонгуй (или Долотуй) с притоком Зомирихой.

В Восточном Забайкалье мы имеем также несколько указаний на находки платиновых металлов. Так, например, указывалось присутствие платины и осмистого иридия в россыпях по рч. Гондыбой (приток р. Урова), рч. Ки и (в верховьях), в верховьях Ингоды, по левому притоку рч. Таугайнбайца. Эти находки генетически, повидимому, связаны с выходами все же ультраосновных пород, по крайней мере в верховьях р. Ингоды.

В Северо-Западном Приамурье, которое геологически представляет непосредственное продолжение Восточного Забайкалья, металлы платиновой группы наблюдались в системах рек, впадающих с севера в Верхний Амур: Б. и М. Олдоя, с притоками Солонгро-Крестовки, Аячи, рч. Осежины с притоком Невен и др. Платиноносность этих россыпей склонны связывать с имеющимися здесь выходами ультраоснов-

¹ Анализ платины из Витимского района (с рч. Агапа?) см. в главе об анализах.

² Анализ рутениевого сысерскита из этого района см. ниже (в главе об анализах).

ных пород. Очень интересным является В е р х н е - З е й с к и й район, где кроме платины, известной в системе р. Гилуя с Могомом, встречается сперрилит в системе рч. Х у г д е р а¹, правого притока р. Дабукита, впадающего в Гилую. Сперрилит без сопровождения самородной платины и других минералов встречается в виде прекрасно образованных мелких кристалликов до 0,5—1 мм в поперечнике (рис. 41). С какими коренными мог быть связан этот минерал, не установлено. Кроме того, примесь платины к золоту и даже в значительных количествах наблюдалась при разработке М и х а й л о - А р х а н г е л ь с к о г о ключа, впадающего справа в р. Б о г а н, затем по рч. У л а н г е (притока Зеи), а также по рч. А р б и, Ч е р е м о ш к и н у и др.

В А л д а н с к о м золотоносном районе присутствие платины наблюдалось в районе южной его окраины, в верховьях системы У ч у р а (по Джалинде), в верховьях р. Т ы м п т о н а (Джегдали, Холодникану, Сивирикану) и в центральной части района в истоках Л е в о г о Л ы л ы м а х а, притока р. Б ы л ы м а х а, впадающего в Алдан справа. В Тымптонском районе по ключу Д ж е г д а л и кроме самородной платины был также встречен сперрилит². Он был обнаружен еще в 1914 г. в шлихах и изучен П. П. П и л и п е н к о. Встречается он в виде хорошо образованных кристаллов (рис. 40). Генезис сперрилита пока здесь не установлен.

В П р и м о р с к о й о б л а с т и (на Дальнем Востоке) на признаки месторождений самородной платины существуют указания в Уссурийском крае в окрестностях оз. Ханка, хотя точное местонахождение неизвестно, и затем имеются непроверенные указания на платину в районе б. Императорской Гавани.

В районе Охотского побережья, в россыях по Джане, левому притоку р. Уды, вместе с золотом был встречен какой-то белый металл, по видимому платина.

На самой северо-восточной окраине Сибири, в Анадырском крае, также имеются указания на присутствие платины в россыях в виде примеси к золоту по рч. З о л о т о е д н о (левый приток р. Белой) и по рч. О с и н о в о й (правый приток р. Танюрера). В Анадырском районе выходы ультраосновных и основных глубинных пород сравнительно распространены. Между прочим эти породы распространены и на К а м ч а т к е, а также на о. С а х а л и н е.

Месторождения платины, вероятно, присутствуют также в мало-исследованном В е р х о я н с к о - К о л ы м с к о м крае. Имели место покупки у ламутов сырой платины, в частности в районе урочища Ч и ч а б а л ы (система р. Индигирки). В этой платине имелась также примесь золота³.

¹ Химический анализ сперрилита приведен ниже, в главе об анализах.

² Химический состав сперрилита см. в главе об анализах.

³ Химический состав платины приведен в главе об анализах.

Перейдем теперь к рассмотрению трапповой металлогенической провинции платины в Сибири. Выходы траппов, как известно, занимают обширную область, тесно связанную с областью развития пород Тунгусской свиты. Излияния основных лав, повидимому, обусловлены тектоническими причинами в конце палеозоя и начале мезозоя. Они занимают пространство в бассейнах рр. Нижней, Средней и Верхней Тунгусок, Курейки, Хантайки, Пясиной, Вилюя, верховий Оленека, Хатанги, на Таймырском полуострове и др. местах, площадью свыше миллиона квадратных километров (см. приложение II).

Платиноносными являются районы: Норильский и Вилюйский и й. Месторождения платины приурочены к более глубинным интрузиям, тогда как эффузивные разности траппов практически являются пустыми. Особый интерес представляют так называемые пирротиновые диабазы, значительно обогащенные сульфидами железа никеля и меди, а также и металлами платиновой группы. Они представляют собой, повидимому, наиболее поздние интрузии основных разновидностей базальтоидной магмы более глубоких зон.

Повидимому, существует два различных типа месторождений платины:

1) Месторождения, в которых платина находится в рассеянном состоянии в виде ферроплатины и поликсена в сопровождении осмистого иридия. Эти металлы встречаются в россыпях и по своему химическому составу резко отличны от состава платиновых минералов второго типа.

2) Месторождения, связанные с сегрегациями медно-никелевых сульфидов. Здесь из металлов платиновой группы существенную роль играет палладий, причем платина и палладий в некоторой своей массе находятся, повидимому, в виде сернистых, мышьяковистых и сурьмянистых соединений. Металлы осмие-иридиевой группы представлены слабо. Россыпи при выветривании, если и образуются, то не представляют промышленного интереса.

Вилюйский платиноносный район принадлежит к первому типу месторождений. Платина вместе с золотом намывалась с речных кос системы р. Вилюя, с притоками рч. Марха, Тонго, Бгетта и др. В верхней части течения Вилюя, выше устья Укугута россыпи становятся беднее.

Характерной особенностью химического состава Вилюйской платины является значительно повышенное в ней содержание родия (до 4,8%) и отчасти рутения (до 2,32%). Анализы самородной платины из Вилюйского района приведены в виде отдельной таблички ниже (см. главу об анализах).

Норильский район медно-никелево-кобальтовых платину содержащих сульфидных руд, характеризующий второй тип месторождений, находится в низовьях р. Енисея у 69° с. ш., в 100 км от с. Дудинки. По отношению к Енисейско-Ленской платформе он располагается в северо-западной части ее, у самой кромки столовых возвышенностей, характерных для платформ.

Наиболее древними породами здесь являются силурийские известняки, которые перекрываются отложениями тунгусской свиты (песчаников, углисто-глинистых сланцев, туффитов и др.), перемежающимися с траппами, представленными главным образом диабазовыми лавами трещинного излияния. Интрузии, с которыми связаны скопления платину содержащих сульфидов, представлены габбро-диабазами, залегающими в виде мощных интрузивных тел, прихотливо прорезывающих тунгусскую свиту. Начало излияний магмы было приурочено к середине верхнего карбона. В этом районе, более детально изучавшемся Б. Н. Р о ж к о в ы м, мы имеем следующие коренные месторождения: 1) Норильск I, 2) Норильск II, 3) месторождение у оз. Ламы, 4) Таймырский полуостров, 5) сульфидное оруденение р. Северной.

Месторождение Норильск I представлено линзой почти сплошных сульфидов горы Рудной, а также вкрапленными рудами горы Рудной, Угольного ручья, р. Барьерной и Сотниковским месторождением окисленных медных руд. Рудная линза (рис. 60) залегает в оливиновом габбро-диабазе. Минералогически она представлена на 50% порообразующими минералами габбро-диабазы, затем сульфидами: пирротинном, халькопиритом пентландитом и отчасти пиритом, а также магнетитом. Металлы платиновой группы распределены в руде исключительно неравномерно.

При этом среди них, как это вообще наблюдается в подобного типа месторождениях, содержание палладия в рудах резко преобладает над содержанием платины. В нашем случае отношение: Pd:Pt равно 2:1. Характерной особенностью руд этого месторождения является значительное преобладание меди над никелем, а также содержание в них кобальта.

В виде каких минералов находятся металлы платиновой группы с точностью не установлено. Однако, по видимому, без сомнения присутствуют: палладистая платина и сперрилит. Не исключена также возможность встречи сернистых и сурьмянистых соединений платиновых металлов: лаурита, куперита, браггита и стибнопалладинита.

Вкрапленные руды Норильска I содержат незначительное количество тех же сульфидов. Содержание в них металлов платиновой группы также доказано химическими анализами.

Месторождение Норильск II располагается приблизительно в 10 км к юго-востоку от Норильска I. Платину содержащие сульфиды в виде скоплений и вкрапленников располагаются преимущественно в лежачем боку интрузии на протяжении 6 км. Здесь точно так же имеем преобладание содержания меди над никелем. Кроме того химические анализы показывают незначительное содержание кобальта. Что же касается металлов платиновой группы, то их содержание в рудах этого района также крайне неравномерно. Каких-либо закономерностей в распределении их пока не установлено.

Месторождение оз. Ламы представлено значительным сульфидным оруденением в виде вкрапленности, но без содержания металлов платиновой группы.

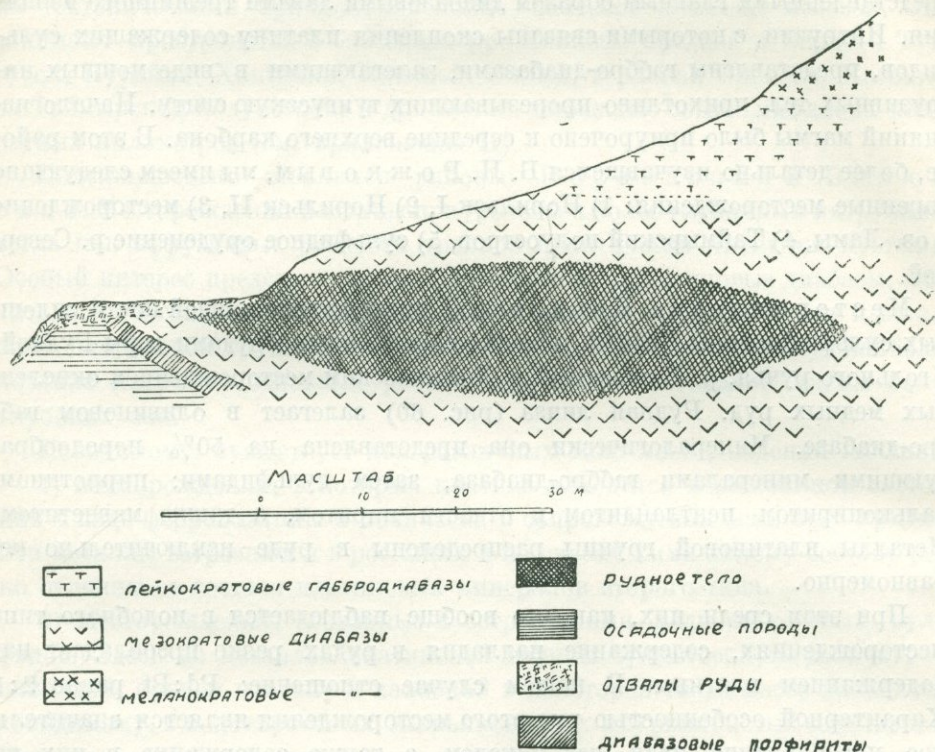


Рис. 60. Разрез по оси рудной линзы Норильск I.

На Таймырском полуострове в верховьях р. Таймыры, среди трапшов также имеются сульфидные оруденения, практическое значение которых еще не выяснено.

Сульфидное оруденение р. Северной (правого притока р. Тунгуский) приурочено также к интрузии трапшов, прорезающих тунгускую свиту. Сульфидное оруденение можно подразделить на два типа: ликвационный тип Норильского района и своеобразный гидротермальный тип оруденения во вмещающих ту или иную интрузию породах. В минералогическом отношении оруденение на р. Северной в основном очень похоже на таковое Норильских месторождений. Лишь в оруденении второго типа наблюдается вкрапленность цинковой обманки. Металлы платиновой группы присутствуют только в первом типе оруденения, причем химическими анализами констатировано присутствие серебра, следы золота, меди и несколько повышенное содержание никеля. В некоторых пробах было обнаружено присутствие ничтожных количеств мышьяка.

Месторождения Норильского типа не ограничиваются рассмотренными месторождениями. Имеется ряд указаний на наличие пирротиновых валунов и сульфидоносных выходов в ряде пунктов Енисейско-Ленской платформы. Например, по С. В. Обручеву, пирротиносодержащие валуны в русле р. Курейки, в устье р. Голокит (по Б. В. Ткаченко), в устье р. Бахты (по Б. Н. Рожкову), в бичевнике правого берега Енисея между д. Черноостровской и Якуты и др. местах.

III. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛАВНЕЙШИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ СОЮЗА

а) КОРЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЛАТИНЫ НА УРАЛЕ

Как было видно из предыдущего обзора, главнейшие месторождения платины в пределах нашего Союза располагаются на Среднем и Северном Урале среди комплекса габбро-перидотитовых пород, протягивающихся в виде полосы в меридиональном направлении между 57 и 63° с. ш., т. е. на расстоянии свыше чем 600 км. На дневной поверхности обнажены породы главным образом габбрового состава, по западной окраине которых местами располагаются куполообразные выходы дунитов с гигантскими пироксенитовыми оторочками, а по восточной окраине — местами кислые глубинные породы (кварцевые диориты и граниты). Во всей серии пород, начиная от дунита и кончая гранитом, имеют место постепенные непрерывные переходы. Согласно представлениям А. Н. Заварицкого весь этот комплекс пород представляет собой раздифференцированное лакколитообразное тело, в основании которого залегают дуниты, постепенно сменяющиеся кверху перидотитами, пироксенитами, габбро-диоритами и гранитами.

Месторождения платиновых минералов приурочены к ультраосновным породам: дунитам и отчасти к перидотитам и пироксенитам. Наиболее хорошо эти месторождения изучены в Нижне-Тагильском дунитовом массиве, где за последнее десятилетие было открыто несколько сот отдельных коренных месторождений.

Дунит, являясь главной материнской породой месторождений платины, представляет собой анхимономинеральную породу: на 98—99% состоит из оливина и 1—2% хромшпинелидов. Анализ почти совершенно свежего дунита с глубины 500 м из буровой скважины дал следующие цифры (аналитик Ю. Н. Книпович).

SiO ₂	40,03%;
TiO ₂	нет;
Al ₂ O ₃	0,057%;
Cr ₂ O ₃	0,50;
Fe ₂ O ₃	нет;
FeO	8,29%

MnO	0,06
NiO	0,29
MgO	48,8
CaO	нет
Потери при прокаливании	1,28%
Сумма	99,93%

Полуторные окислы, а также часть FeO, MgO и MnO относятся к составу хромшпинелидов.

Чистый оливин, выделенный автором с помощью лабораторного гидравлического классификатора из дунита Александровского лога, представлял собой совершенно прозрачный бесцветный, как кварц, минерал. Химический анализ его следующий (по М. Е. Шарлову):

SiO ₂	40,97%;
Cr ₂ O ₃	нет;
Fe ₂ O ₃	нет;
FeO	7,36%
MgO	51,46
NiO	0,25
Сумма	100,04%

Эти данные очень близко отвечают вышеприведенному анализу дунита.

В пересчете на молекулярные соотношения мы имеем: 92,8 Mg₂SiO₄ + 7,2 Fe₂SiO₄, т. е. согласно классификации изоморфных смесей, по А. К. Болдыреву, мы здесь имеем железистую разновидность форстерита.

В основной своей массе дунит в той или иной мере серпентинизирован, причем серпентинизация проявлена крайне неравномерно и часто бывает связана с направлениями тектонического порядка.

Минералы платиновой группы парагенетически настолько тесно связаны с хромшпинелидами, что, говоря о коренных месторождениях платины, по существу приходится говорить о месторождениях хромшпинелидов. Обратимся к характеристике самих месторождений.

1. Минералогическое описание платиновых руд

Главнейшим минералом месторождений платины является хромшпинелид. Необходимо различать две категории хромшпинелидовых образований:

1) Хромшпинелиды в виде акцессорного минерала, характеризующего дунит, как вмещающую материнскую породу.

2) Хромшпинелидовые скопления, являющиеся собственно рудными телами.

Наряду с этим имеют место и переходного характера скопления хромшпинелидов в виде типичных вкрапленниковых шпиров.

Как показывают химические анализы, состав хромшпинелидов колеблется в широких пределах и среди них существует целый ряд минеральных

видов, представляющих изоморфные смеси и внешне не отличимых друг от друга¹.

Приведем таблицу химических анализов, выполненных В. С. Сырокомским (№ 1—10, 14—17) и Ю. Н. Книпович (№ 11, 12, 13, 18—21) (см. стр. 98).

После соответствующего пересчета данных химических анализов на молекулярные соотношения, согласно классификации, предложенной А. К. Болдыревым, мы получим следующие минеральные виды:

1. Пикрохромит— $MgCr_2O_4$ —1 анализ (№ 18).
2. Магнохромит— $(Mg,Fe)Cr_2O_4$ —4 анализа (№ 3, 10, 13 и 19).
3. Хромпикотит— $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$ —7 анализов (№ 1, 2, 4, 5, 6, 9 и 11).
4. Ферри-хромпикотит— $(Mg,Fe)(Cr,Fe,Al)_2O_4$ —4 анализа (№ 7, 8, 15 и 17).
5. Магно-феррихромит— $(Mg,Fe)(Cr,Fe)_2O_4$ —4 анализа (№ 12, 14, 16 и 20).
6. Магнетит— $FeFe_2O_4$ —1 анализ (№ 21).

Анализы № 4 и 12 относятся к акцессорным хромшпинелидам нормального дунита, выделенным из него с помощью гидравлического классификатора. Как видим, вопреки существовавшим предубеждениям, они ничем существенно не отличаются по химическому составу от хромшпинелидов в сплошных скоплениях.

Замечательным является также то обстоятельство, что намечается некоторая закономерная связь между пространственным расположением гнезд хромистого железняка в дунитовом массиве и химическим составом их. Если бы мы изобразили химические составы на пространственной диаграмме,² то заметили бы, что для тех гнезд, которые располагаются среди самого дунитового массива, они характеризуются меньшим содержанием магнетитовой молекулы, нежели те гнезда, которые располагаются по периферии в перидотитовых участках (№ 14, 15, 16, 17 и 20), и, наконец, гнездо в пироксените оказалось магнетитовым с повышенным содержанием окиси титана и ничтожным содержанием окиси хрома.

Выделения хромшпинелидов, как правило, наблюдаются в виде идиоморфных образований: кристаллов или округленной формы зерен. Лишь богатые магнетитовой молекулой хромшпинелиды проявляют ксеноморфизм по отношению к оливину или пироксену. Размеры зерен измеряются обычно 1—2 мм, реже 4—5 мм. Как правило, для Нижне-Тагильского дунитового массива они непрозрачны. Просвечивают обычно разности, более бедные железом.

¹ О классификации хромшпинелидов см. А. Г. Бетехтин: «К изучению хромовых месторождений». Зап. Лен. Горн. И-та, т. VIII, 1933 г. и А. К. Болдырев «Курс минералогии», ч. III, 1935.

² См. работу автора: «К изучению хромовых месторождений». Зап. Лен. Горн. Ич-та, 1933, т. VIII.

⁷ Бетехтин. Платина.

Химический состав хромшпинелидов

№ по пор.	Место-рождение	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	CaO	TiO	Сумма
1	Каменный лог № 2—03	1,89	36,56	24,58	25,15	Все железо определялось в виде окиси	13,95	0,74	—	—	102,87
2	«Госшахта» гор. 32—1 .	0,86	46,51	16,04	24,38		11,41	0,85	—	—	100,05
3	«Госшахта» гор., 18 . .	3,13	50,79	0,30	38,28		10,70	0,02	—	—	103,22
4	Александр. лог № 61 .	0,58	49,58	11,69	25,93		11,50	0,77	—	—	100,05
5	Каменный лог № 2—10	0,89	49,64	11,11	26,02		14,16	0,99	—	—	102,81
6	Александр. лог № 87 .	1,32	45,43	11,49	27,09		15,51	0,66	0,10	—	101,60
7	Александр. лог № 76 .	2,06	47,21	7,80	27,21		14,26	0,91	0,19	—	99,64
8	Сыров лог № 3—05 . .	0,20	47,68	11,28	29,42		11,65	0,97	0,17	—	103,17
9	Сыров лог № 3—02 . .	1,03	46,45	11,21	30,30		11,06	1,16	0,17	—	101,38
10	Крутой лог № 4—03 . .	1,82	49,54	4,16	30,89		12,61	0,75	0,14	—	99,91
11	Александр. лог № 69—1 .	2,40	46,28	10,97	31,00	8,45	0,14	0,15	—	99,39	
12	Соловьев лог. Из дунита . . .	0,17	47,25	6,91	18,26	17,24	8,37	0,64	0,12	—	98,96
13	Александр. лог № 47 .	0,50	51,17	5,65	21,42	7,38	12,58	0,19	0,14	—	99,03
14	Вересовый бор. Ис. р.	1,67	39,60	7,58	40,80	Все железо определялось в виде окиси	9,16	1,03	—	—	99,74
15	Светлый бор Ис. р. . .	1,36	34,58	9,84	44,85		9,84	0,74	—	—	101,21
16	Пупков лог № 6—05 . .	2,32	32,35	7,06	50,96		8,85	0,93	—	—	102,47
17	Сухой лог № 7—02—1	1,45	28,37	9,88	55,56	6,76	0,03	—	—	102,06	
18	Александр. лог № 69—2	0,58	51,42	5,74	18,60	6,55	15,48	0,12	—	0,74	99,23
19	«Госшахта» гор. 32—2 .	0,38	52,42	5,43	16,85	9,06	13,54	1,55	0,06	0,59	99,88
20	Сухой лог № 7—02—2	4,48	28,01	3,75	30,57	18,06	10,80	0,67	0,37	1,23	99,81
21	Магнетит из пироксенита	0,10	0,20	7,67	55,17	28,15	4,22	0,33	0,03	4,50	100,37

Примечание. В тех случаях, когда все железо определялось в виде окиси, сумма превышает 100%.

Кроме хромшпинелидов в платиновых месторождениях встречается целый ряд хром содержащих силикатов:

Хромгранаты (уваровиты): кальциевый феррихромгранат; кальциевый алюмоферрихромгранат; магнезиальнокальциевый алюмохромгранат; магнезиальнокальциевый алюмоферрихромгранат.

Хромслюда: фуксит.

Хромхлориты¹: хром-корундофиллит, бедный закисью железа; хром-клинохлор (кочубейт); прохлорит-клинохлор магнезиально-хромовый; хром-пеннин ферромагнезиальный (кеммеририт).

Хром-везувииан и хром-диопсид

Все эти силикаты парагенетически бывают тесно связаны между собой. При этом они встречаются нередко в виде прекрасных кристаллов на стенках типичных миаролитовых пустот (рис. 61) в дуните и хромистых железняках, что говорит определенно о более позднем их образовании. Скорее всего, они возникали в пневматолитовую и отчасти в гидротермальную фазы. Об этом же свидетельствуют явления замещения этими минералами хромшпинелидов.

Очень интересны с геохимической точки зрения находки редких сульфидов, парагенетически связанные то с хромсодержащими силикатами, то с минералами платиновой группы. Одни из сульфидов принадлежат к типу пентландита, богатого никелем, другие к типу сульфидоферритов меди, близкому к кубаниту.

Что же касается первичных минералов платиновой группы, то среди руд коренных месторождений с достоверностью были констатированы следующие минеральные виды: поликсен, иридиястая платина, имеющие главное распространение, и затем группа осмистого иридия и платинистый иридий, встречающиеся значительно реже². Не окончательны установления: лаурит-

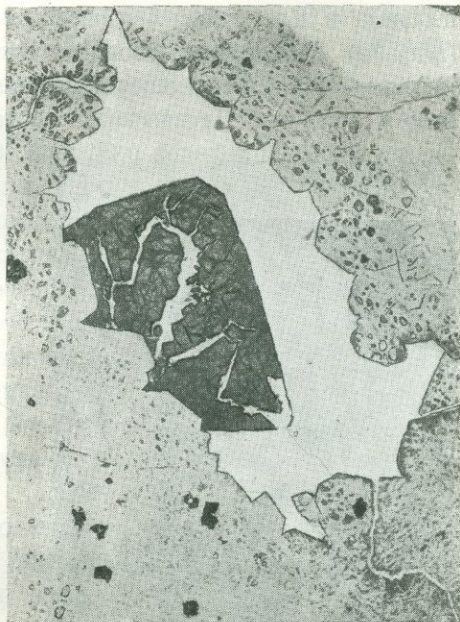


Рис. 61. Миаролитовая пустота в дуните, выполненная аморфным серпентином. Темносерый кристалл на стенке пустоты — уваровит. Кристаллики черного цвета в дуните — хромшпинелид. Увеличено в 7 раз.

¹ Названия приводятся применительно к классификации Орселя.

² О химическом составе минералов платиновой группы см. ниже (главу об анализах).

и стибнопалладиит. Кроме того, обнаружены еще два минерала, которые пока не удалось отнести ни к одному из известных. Сперрилит до сих пор не был встречен.

Группа осмистого иридия всегда встречается в виде кристаллов в самородной платине (рис. 30, 36, 37 и 38), реже в хромшпинелидах. Иридная платина и платинистый иридий также иногда встречаются в кристаллах (рис. 62). Поликсен в основной своей массе наблюдается в виде ксеноморфных выделений по отношению к хромшпинелидам и иногда даже по отношению к оливину. Чрезвычайно часто приходится наблюдать явления замещения хромшпинелидов платиной. С другой стороны, как ни парадоксально,

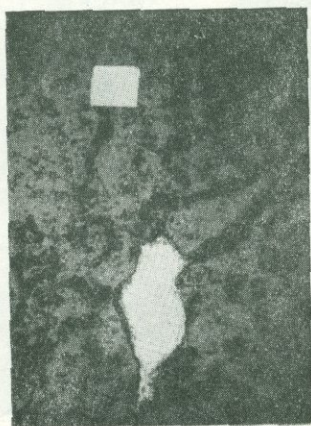


Рис. 62. Ксеноморфное зерно поликсена, богатого иридием, протравившееся от царской водки (внизу снимка — белое со штрихами спайности). Вверху снимка кристалл платинистого иридия в хромшпинелиде, совершенно не поддающийся травлению. Госшахта. Увеличено в 70 раз.

но, поликсен встречается также в виде прекрасно образованных кристалликов внутри отдельных зерен хромшпинелидов (рис. 4). Однако, пристрастная приуроченность этих кристалликов к более крупным выделениям платины, проявляющим метасоматоз зерен хромшпинелидов, заставляет их принимать за метакристаллы, по крайней мере, в значительной части случаев. В виде кристаллов платина встречается и в дуните.

По отношению к сульфидам, с которыми платина изредка находится в сростании, она является чаще идиоморфной, но иногда эти сростания производят впечатление одновременного их выделения, подобно тому, как изображено на рис. 63. Здесь оба минерала сообща заполняют оставшееся между кристаллами хромшпинелида пространство.

По отношению к хром содержащим силикатам: хлоритам, везувиану, графатам — платина во всех наблюдавшихся, правда, редких случаях, имела собственные кристаллические грани. Лишь в одном случае посчастливилось на-

блюдать мельчайшие выделения платины (установлено травлением) среди хлоритового тонкозернистого агрегата, выполнившего вместе с крупными индивидами хлорита миаролитовую пустоту в хромшпинелидовом агрегате (рис. 64). Характерно, что эти выделения сопровождаются и обычными более крупными выделениями самородной платины среди хромшпинелидов.

Наконец, среди самородной платины наблюдались и довольно часто газовые пустоты пузырькового характера, а также, что весьма любопытно, так называемые «отрицательные кристаллы», т. е. полости на месте кристаллов какого-то минерала. В некоторых случаях это были, вероятно, отпечатки высочивших при полировке кристаллов оливина, иногда хромита, но в других случаях при систематическом изучении по мере постепенного со-

шлифовывания поверхности образца можно было определенно заметить расширение подобных пустот. Явление — весьма загадочное.

В заключительный момент гидротермальной фазы магматического периода для некоторых месторождений имело место образование серпентиновых оторочек вокруг скоплений хромшпинелидов за счет дунита. Количественное значение этого именно серпентина обычно бывает невелико. От главных серпентиновых масс, образовавшихся позднее, наши серпентиновые оторочки отличаются более темным цветом и иным характером вы-

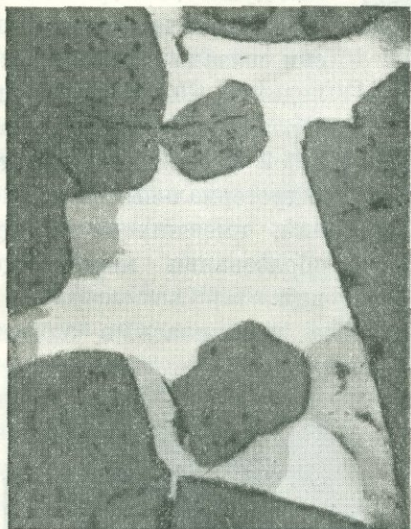


Рис. 63. Платина (белое) и сульфид меди (светлосерое) в виде ксеноморфных выделений в хромшпинелидовом агрегате. Темносерое — кристаллы хромшпинелида. Крутой лог. Месторождени № 4—02. Увеличено в 90 раз.

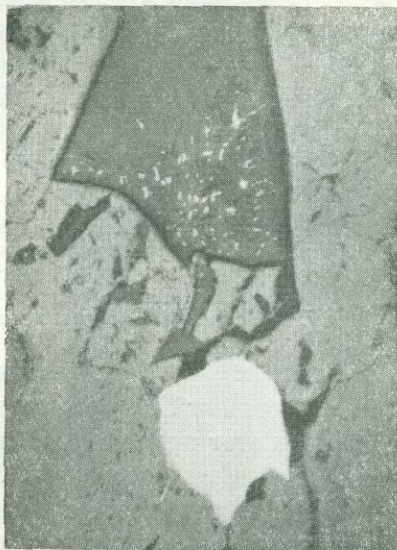


Рис. 64. Зерно платины (белое) в хромшпинелидовом агрегате (серое). Темносерое — хромхлорит, выполняющий миаролитовую пустоту и частично замещающий хромшпинелид. Мелкие белые зернышки в хромхлорите — платина. Госшахта. Увеличено в 100 раз.

ветривания на дневной поверхности. Они значительно труднее поддаются выветриванию. Несколько похожие, но меньших масштабов оторочки серпентина вокруг магматогенных минералов (хромшпинелидов, уваровитов и др.) возникают и в процессе позднейшей стадии серпентинизации. Однако, они наблюдаются только среди слабоозмеевикованного дунита и, как правило, возникают вокруг каждого вкрапленного зерна посторонних минералов. В этих случаях мы наблюдаем постепенные переходы в окружающую массу и характер их выветривания не отличается от выветривания общей серпентинизированной массы. В наших же случаях внешняя граница серпентиновой оторочки резка (особенно это хорошо видно на

выветрелых образцах) и наблюдается главным образом вокруг сплошных или густовкрапленных хромшпинелидовых скоплений, часто не распространяясь или распространяясь частично на вкрапленные участки (см. рис. 65). Под микроскопом рассматриваемые оторочки имеют реликтовую петельчатую

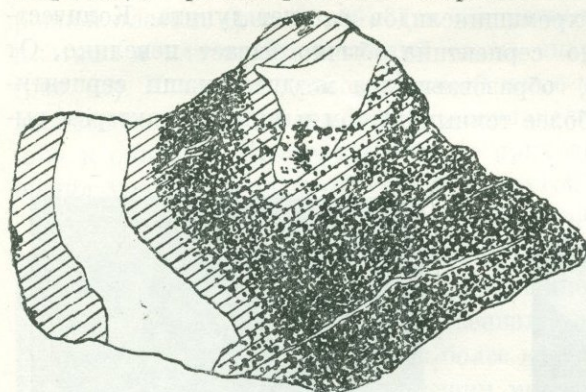


Рис. 65. Оторочки массивного серпентина (заштриховано) вокруг хромшпинелидовых скоплений (черное). Белое — участки дунита, серпентинизированные в более позднюю стадию. Зарисовано с пришлифованного образца. Натуральная величина.

Главная же фаза серпентинизации матическую стадию. По некоторым соображениям этот процесс едва ли имеет автометаморфический характер. Скорее, это — наложенный процесс регионального метаморфизма ультраосновных пород, протекавший в значительно более позднюю стадию, чем формирование габброперидотитовых массивов. Не исключена возможность, что он мог совершаться даже за счет фреатических вод в условиях повышенных температур. За это до некоторой степени говорит, может быть, приуроченность озмеевикованных участков к апикальной части Н.-Тагильского дунитового массива, где на глубине, как показала глубокая скважина, мы имеем совершенно свежий дунит. Активность серпентиновых растворов обусловила ряд новообразований не только в ряду силикатовых минералов, но также и среди хромшпинелидов, самородной платины и сульфидов. Увеличение объема силикатовой массы обусловило динамические воздей-

текстуру, характеризующую замещение оливина. Тот факт, что они встречаются вокруг скоплений хромшпинелидов в почти совершенно неизомеэвикованном дуните, говорит о том, что их появление генетически связано с хромшпинелидами. Повидимому, эти образования представляют собой последние эксудаты гидротермальных проявлений, имевших место при образовании месторождений.

дунита проявилась в эпимаг-

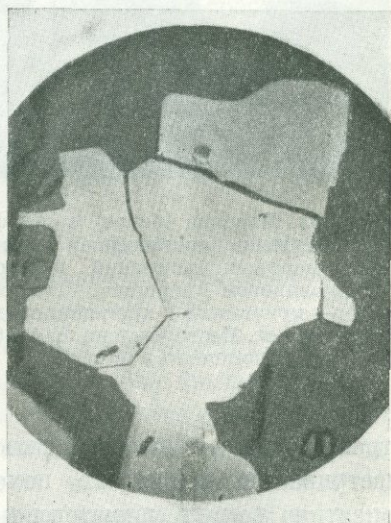


Рис. 66. Зерно приростовой платины (белое), растрескавшееся во время серпентинизации. Темное — серпентин. Слева к платине примыкает часть зерна хромшпинелида. Госнахта. Увеличение в 50 раз.

ствия, вызывавшие растрескивание таких минералов, как платина (рис. 66), хромшпинелиды (рис. 67), гранаты и др.

Химические изменения минералов, выделившихся еще в магматический период, как уже говорилось, нередко весьма существенны. Сульфоферриты меди, разлагаясь в условиях серпентиновой среды, восстанавливались до самородной меди.

На рис. 68 изображено выделение самородной меди вокруг остатков сульфидного минерала. Вся площадь, на которой выделились медь и аморфный серпентин, ранее была занята сульфидом. Очень часто медь преотлагается по серпентиновым прожилкам, пространственно будучи все же приурочена к местам распространения сульфидов. Никелевые сульфиды разрушаются труднее и около них мы наблюдаем иногда отложения миллерита в виде тонких часто неправильных жилок по прожилкам серпентина.



Рис. 67. Зерно хромшпинелида (белое), разбитое сетью параллельных трещин, выполненных серпентином (темносерое). Крутой лог. Месторождение № 4—41. Увеличено в 80 раз.

Самородная платина с невысоким содержанием иридия также легко подвергается химическому метаморфизму. Уже указывалось в главе о купроплатине, что при этом происходит значительное обогащение медью, никелем и отчасти железом, с образованием кайм, подобных реакционным каймам (рис. 69). Более же богатая иридием платина значительно труднее подвергается подобного рода изменениям, причем как будто бы определенно устанавливается, что в этих случаях, обогащение никелем по сравнению с медью происходит в больших количествах. В новообразованиях, богатых железом и медью, нередко наблюдается возникновение полисинтетических двойников (рис. 70), чрезвычайно похожих на двойниковые образования в искусственных сплавах системы платина — железо, для той части этой системы, где происходит превращение одного твердого раствора в другой в сопровождении перекристаллизации. Согласно данным экспериментальных исследований, здесь имеет место образование химического соединения переменного состава: $PtFe$. Удалось установить, что все подобные изменения происходят в начальный период процесса серпентинизации.

Химические анализы купроплатины и никелистой разновидности приведены в соответствующей главе об анализах (см. ниже).

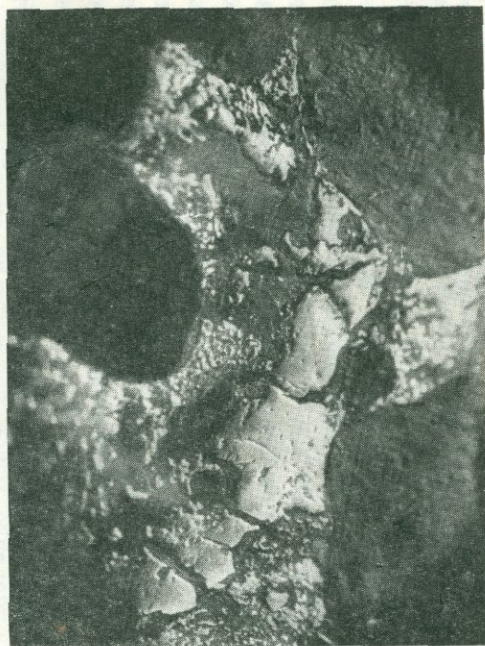


Рис. 68. Образование самородной меди (хлопьевидные белые пятна) на месте бывшего зерна сульфидеррита меди, остатки от которого сохранились в центре (разломанные рельефные зерна). Темносерое среди выделений меди — аморфный серпентин. Темносерое и черное за пределами ее — хризотилловый серпентин на месте бывших оливиновых зерен. Крутой лог. Месторождение № 4—00. Увеличено в 25 раз.



Рис. 69. Купроплатина в виде каймы вокруг центральной непротравившейся части зерна первичной платины (белое). Среди медистой платины наблюдаются непротравившиеся зерна и изогнутые жилкоподобные образования платинистого иридия очень высокой твердости (с резким ореолом). Серое — хромшпинелид; черное в нем — серпентин. Крутой лог. Месторождение № 4—42. Увеличено в 100 раз.



Рис. 70. Образование купроплатины в виде каймы по периферии выделений платины. Хорошо видны полисинтетически - двойниковые образования. В самих ядрах сохранившейся первичной платины произошло также замещение вдоль направлений спайности в виде тонких закономерно расположенных пластинок. Крутой лог. Месторождение № 4—42. Увеличено в 100 раз.

Но не только минералы платиновой группы претерпевают химический метаморфизм. Доказано, что и хромшпинелиды также подвергаются химическому изменению, правда, значительно труднее по сравнению с другими минералами. Изменение здесь совершается за счет обогащения хромшпинелидового вещества окисью железа и обеднения его глиноземом, который связывается тут же с серпентином в виде хлоритов. При более энергичном воздействии серпентиновых растворов происходит растворение и переотложение хромшпинелидового вещества в виде неправильной формы образований. В некоторых случаях на ряду с этим образуется магнетит в виде «рудной пыли» в серпентиновом веществе.

Закачивается минералообразование в процессе серпентинизации отложением карбонатов: артинита, арагонита, кальциевомагнезиальных карбонатов и, наконец, отложением брусита и ферробрусита.

При экзогенных процессах минералообразования серпентин разрушается скорее, нежели оливин, образуя гидрокислы железа и целую серию промежуточных коллоидальных гидросиликатов магния, отчасти никеля, в сопровождении опала и лимонита. Местами имеет место карбонатизация с образованием магнезита, причем остаточные зерна оливина карбонатизируются легче, нежели серпентин. Хромшпинелиды в условиях выветривания устойчивы и образуют россыши совместно с платиновыми минералами. Медистая платина при выветривании, как установлено, постепенно изменяется в химическом составе за счет окисления меди и очень возможно никеля. В россышной платине содержание никеля ничтожно. За счет выпоса меди и никеля не исключена возможность обогащения россышной платины железом и образования т. н. ферроплатины. Осмистый иридий, иридитовая платина и платинистый иридий, по видимому, не претерпевают химических изменений.

Самородная медь и сульфиды меди дают карбонаты, содержащие в своем составе также магний

2. Морфологическая характеристика рудных тел и текстуры руд

Для правильного решения вопросов о генетических взаимоотношениях минеральных образований, а в связи с этим и вопросов геохимии, необходимо, хотя бы в общих чертах разобраться также в текстурах руд, в морфологических особенностях рудных тел и их пространственном расположении среди массива вмещающих пород в связи с его геологическим строением.

Было уже сказано, поскольку платиновые минералы парагенетически очень тесно связаны с хромшпинелидами, постольку в качестве платиноносных рудных тел мы должны рассматривать хромшпинелидовые образования. Правда, далеко не все гнезда хромистых железняков одина-

ково богаты платиной; мы имеем весьма широкие колебания в содержании платины вплоть до нуля, но все же в процентном отношении оно чрезвычайно редко достигает единиц процентов. Что касается всех остальных минералов, характеризующих руды, то они в количественном отношении также резко подчинены хромшпинелидам. Рассмотрим главнейшие текстурные признаки.

Нормальный дунит с акцессорными вкраплениями хромшпинелидов, как правило, обладает однородной текстурой. По мере увеличения степени вкрапленности хромшпинелидов мы наблюдаем уже неоднородные

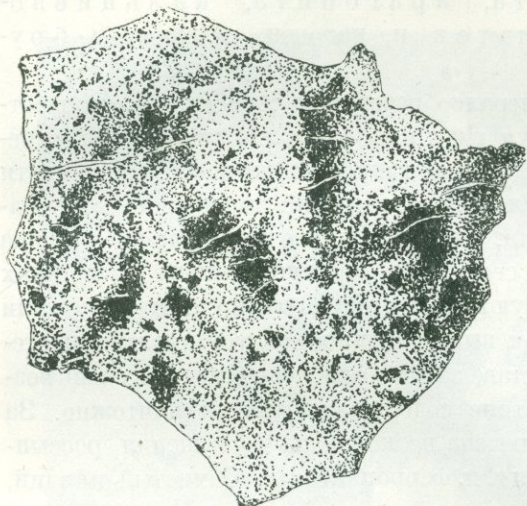


Рис. 71. Пятнистая текстура руды. Черное — хромшпинелид. Белое — серпентинизированный оливинный агрегат. Белые прожилки — карбонаты. Зарисовано с пришлифованного образца. $\frac{2}{3}$ натуральной величины.

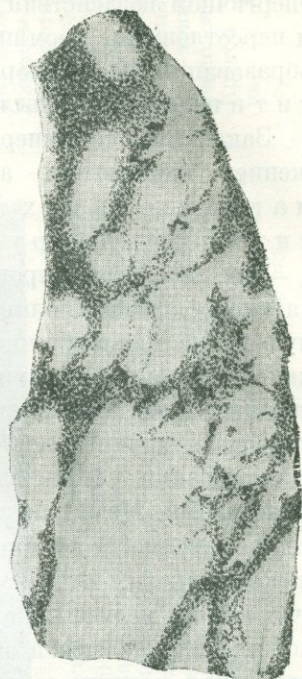


Рис. 72. Петельчатая текстура руды. Черное — хромшпинелид. Белое — дунит. $\frac{2}{3}$ натуральной величины.

(такситовые) текстуры. Таковы, например, пятнистые текстуры (рис. 71), обусловленные также неравномерностью вкраплений хромшпинелидов, местами образующих даже сплошные образования, причем какой-либо закономерности в расположении этих участков не наблюдается, затем флюктуидальные текстуры вкрапленных руд «струеобразных шпиров», где в различных полосах, характеризующих текстуру, мы имеем также неравномерную концентрацию хромшпинелидов.

В обоих типах приведенных текстур наблюдаемые минеральные агрегаты являются одновременными по возрасту и обусловлены неоднородностью состава первоначальной жидкости перед самым моментом раскристаллизации.

Далее следует указать на наблюдающиеся линзовидные текстуры руд. Линзообразные составные части бывают представлены как вкраплен-

ными, так и сплошными скоплениями хромшпинелидов, причем в последнем случае сплошной агрегат имеет резкие границы или постепенно по периферии переходит во вкрапленность. В месторождениях с массивными рудами можно наблюдать, наоборот, линзообразные включения в руде вмещающей породы с подобным же характером границ. Очень часто расположение всех этих линзообразных составных частей соответствует общей форме рудного тела. Анализ таких текстур руд приводит к заключению о не совсем одновременном возрасте минеральных агрегатов, участвующих в строении рудных штуфов. Наблюдаемые явления разъедания

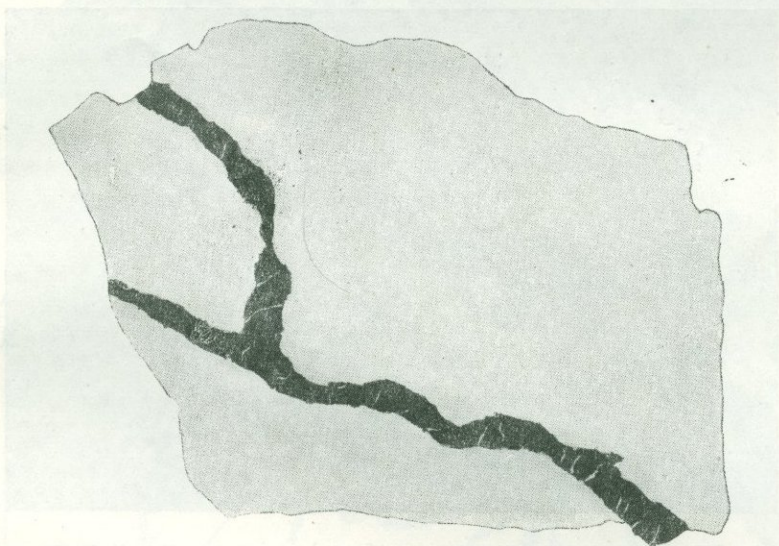


Рис. 73. Текстура пересечения. Черный прожилок — хромшпинелид. Белые жилки в нем — карбонаты. Окружающая масса — дунит. $\frac{2}{3}$ натуральной величины.

рудным веществом включений вмещающей породы говорят о более позднем возрасте хромшпинелидовых скоплений.

Иногда бывает характерна т. н. петельчатая текстура руды, характеризующаяся тем, что рудное вещество в виде вкрапленных или сплошных хромшпинелидов образует как бы сетку в пространстве, в ячейках которой располагается дунит (рис. 72). При рассматривании этих текстур в полированных штуфах часто создается впечатление замещения рудным веществом дунита. В участках наибольшего развития рудного вещества иногда можно наблюдать как бы ксенолитоподобные остатки дунита.

Очень характерны для наших руд бывают жильные текстуры. Нередко мы наблюдаем типичные прожилки рудного вещества в дуните прямолинейные или криволинейные в разрезе (рис. 73), с выдерживающейся или варьирующей мощностью, представленные сплошным рудным веществом или вкрапленным. Иногда мы имеем серию параллельных прожилков, создающих полосатые текстуры

пересечения. Подобные текстуры часто свойственны жилообразным рудным телам.

К этой же категории текстур следует отнести так называемые «цепочки» зерен хромшпинелидов, т. е. расположение этих зерен вдоль определенной плоскости в дуните, как результат выделения вдоль тонкой трещины. Автором на месторождении «Госшахта» подобная «цепочка» была прослежена на 6 м по простиранию. Если в таких «цепочках» встречаются зерна платины, то они располагаются также согласно общему направлению (рис. 74) выделений хромшпинелидов.



Рис. 74. «Цепочка» зерен платины (белое) и в прожилке хромшпинелида. Окружающий фон — серпентинизированный дунит. Полированный штаф. Месторождение № 3—02 в Сырковом логу. Увеличено в 5 раз.

Не менее интересны брекчиевидные текстуры, в которых роль цемента играет рудное вещество (рис. 75). Подобные текстуры встречаются сравнительно редко, но характерно, что они бывают свойственны чаще всего столбообразным телам, реже гнездовым формам рудных тел.

Таким образом текстуры платиновых руд характеризуются значительным разнообразием. Наибольшее генетическое значение имеют текстуры краевых частей рудных тел, указывающие на детали взаимоотношений их с боковыми породами. В большинстве месторождений они доказывают несколько более поздний возраст выделения рудного вещества по сравнению с вмещающими породами.

Если бы мы обратились теперь к формам рудных тел, то тут встретили бы все генетические типы форм, начиная от широкообразных гнезд и кончая жилообразными и неправильной формы ветвящимися телами. Чаще всего распространены гнезда линзообразной формы, а также вытянутые в одном направлении, т. е. приближающиеся к столбообразным. Нередко рудные

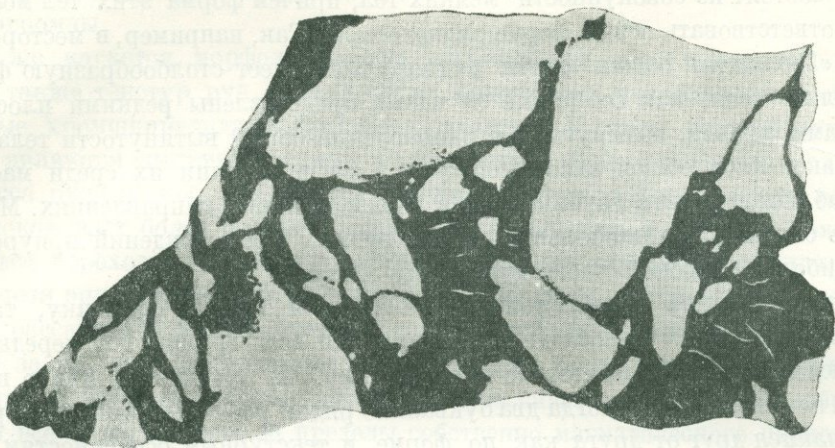


Рис. 75. Брекчиевидная текстура руды. Черное — хромшинелид с прожилками карбонатов. Белое — дунит. $\frac{2}{3}$ натуральной величины.

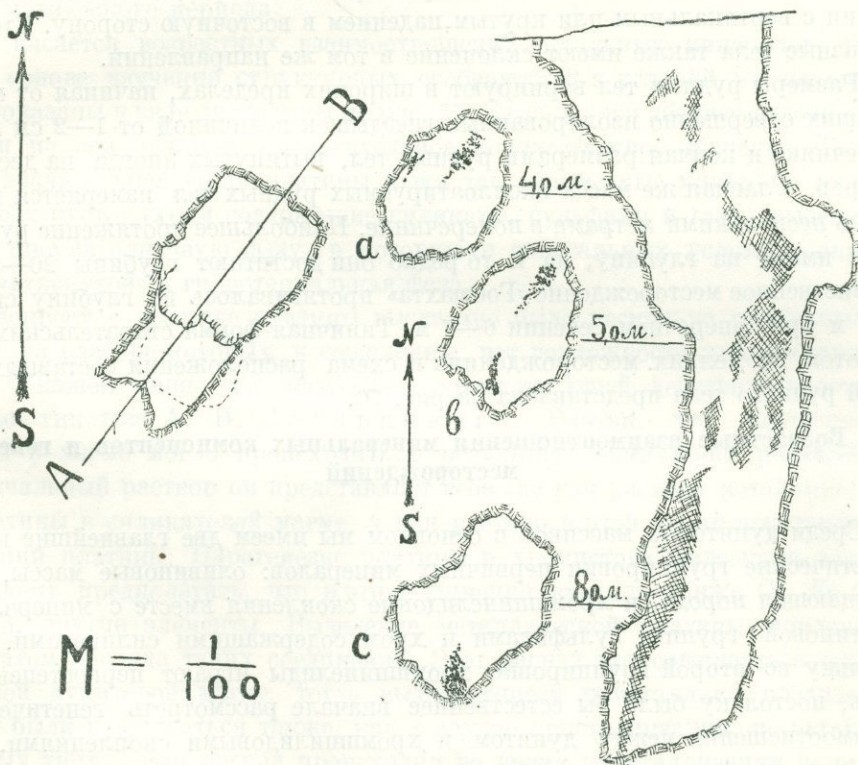


Рис. 76. План и разрез (по *AB*) выработки по месторождению № 25 в Александровском логу Нижне-Тагильского дунитового массива. *a*, *b* и *c* — зарисовки дна выработки на горизонтах 4, 5 и 8 м. Черным показаны скопления хромшинелидов. Заштрихованы проекции рудных тел на вертикальную плоскость.

тела состоят из совокупности мелких тел, причем форма этих тел может и не соответствовать общей форме рудного тела. Так, например, в месторождении «Госпахта» общая форма рудного тела имеет столбообразную форму а мелкие тела, как составные ее части, представлены редкими плоскими линзами, правда, вытянутыми в направлении общей вытянутости тела.

Какой-либо общей закономерности в расположении их среди массива не наблюдается ни с глубиной, ни в горизонтальных направлениях. Можно лишь сказать, что наибольшая масса рудных месторождений приурочена к наиболее широкой части дунитового массива.

Среди массива рудные тела располагаются как в одиночку, так и группами, причем в последних случаях для всей группы тел нередко мы наблюдаем общие морфологические признаки. На ряду с этим можно встретить немало случаев, когда два буквально рядом расположенные тела резко отличаются друг от друга как по форме и текстурным особенностям руд, так и по минералогическому составу, содержанию платиновых металлов и химическому составу самих хромшпинелидов.

Что касается условий залегания рудных тел, то для линзообразных форм мы имеем преимущественное простирание в меридиональном направлении с вертикальным или крутым падением в восточную сторону. Столбообразные тела также имеют склонение в том же направлении.

Размеры рудных тел варьируют в широких пределах, начиная от мельчайших совершенно изолированных гнездышек величиной от 1—2 см в поперечнике и кончая размерами рудных тел, вытянутых иногда на десятки метров. Главная же масса эксплуатируемых рудных тел измеряется всего лишь несколькими метрами в поперечнике. Наибольшее протяжение рудные тела имеют на глубину, да и то редко они достигают глубины 20—30 м. Единственное месторождение «Госпахта» протягивалось на глубину свыше 150 м при поперечном сечении 6—7 м. Типичная форма старательских выработок на мелких месторождениях и схема расположения составных частей рудного тела представлена на рис. 76.

3. Возрастные взаимоотношения минеральных компонентов и генезис месторождений

Среди дунитовых массивов в основном мы имеем две главнейшие парагенетические группировки первичных минералов: оливиновые массы, как вмещающая порода, и хромшпинелидовые скопления вместе с минералами платиновой группы, сульфидами и хром содержащими силикатами. Поскольку во второй группировке хромшпинелиды играют первостепенную роль, постольку было бы естественнее вначале рассмотреть генетические взаимоотношения между дунитом и хромшпинелидовыми скоплениями.

Было указано, что хромшпинелиды помимо скоплений в виде рудных тел присутствуют в качестве акцессорного минерала в самом дуните. Микроскопическое изучение показывает, что хромшпинелиды этого порядка выделялись либо ранее, либо одновременно с оливином. Несмотря на

низкий процент содержания, общие количества этой хромшпинелидовой массы огромны.

Что же касается морфологических особенностей рудных скоплений, а также текстур руд, то анализ их показывает, что шпировые, обогащенные хромшпинелидами дунитовые участки, а также струеобразные шпирсы являются сингенетическими с вмещающим дунитом. Однако, главная масса рудных тел, как это мы видели еще при разборе текстур руд, часто показывает более поздний возраст по отношению к дуниту. Можно найти все переходные разности среди рудных тел от типичных шпиров к типичным эпигенетическим рудным телам. Тот факт, что эти рудные тела иногда пересекаются в свою очередь тонкими жилками типичного дунита, говорит за то, что хромшпинелидовые скопления формировались хотя и в последние стадии застывания дунитового массива, но момент их образования все же не выходил за пределы собственно магматического периода.

Таким образом, главная масса промышленных месторождений платины и хромшпинелидов не принадлежит к более ранним образованиям, возникшим путем аккумуляции их в твердом виде, как это часто указывается в курсах рудных месторождений, а приурочена к более поздним моментам магматического периода.

Что касается возрастных взаимоотношений остальных минералов, то они на основе изучения структурных особенностей и условий их нахождения показаны в виде диаграммы на рис. 77. Здесь по оси абсцисс отложено время и по оси ординат — относительное количественное значение. Как видим, значительная часть платины и все так называемые минералы миаролитовых пустот (хром содержащие силикаты, сульфиды и газы) выделились в пнеуматолитовую фазу, в которую в абиссальных условиях оказалась «втиснутой» и гидротермальная фаза.

По вопросу о генезисе платины высказано было несколько различных гипотез, на разборе которых, к сожалению, нет возможности здесь остановиться. Укажем лишь, что наиболее соответствующей действительности оказалась гипотеза А. Н. Заварицкого. Считая, что выделение платины в магме могло происходить в результате химических реакций, первоначальный раствор он представляет себе «не как раствор металлической платины в силикатовой магме, а как раствор в этой магме некоторых соединений платины. Парагенезис платины и хромистого железняка дает возможность предполагать, что в эти соединения входили также Cr, Fe и вероятно, другие элементы. Выделение металлической платины явилось результатом распада таких соединений. Этот распад мог совершаться еще в жидкой дунитовой магме, тогда выделяющиеся кристаллики платины должны были погружаться также, как в случае кристаллизации, по эвтектическому типу... или распад происходил во время кристаллизации дунитовой магмы, быть может даже в последние ее моменты или даже в эпимагматическую стадию процесса. В последнем случае, разумеется, погружения кристаллов быть не могло и обогащенными платиной частями дунита

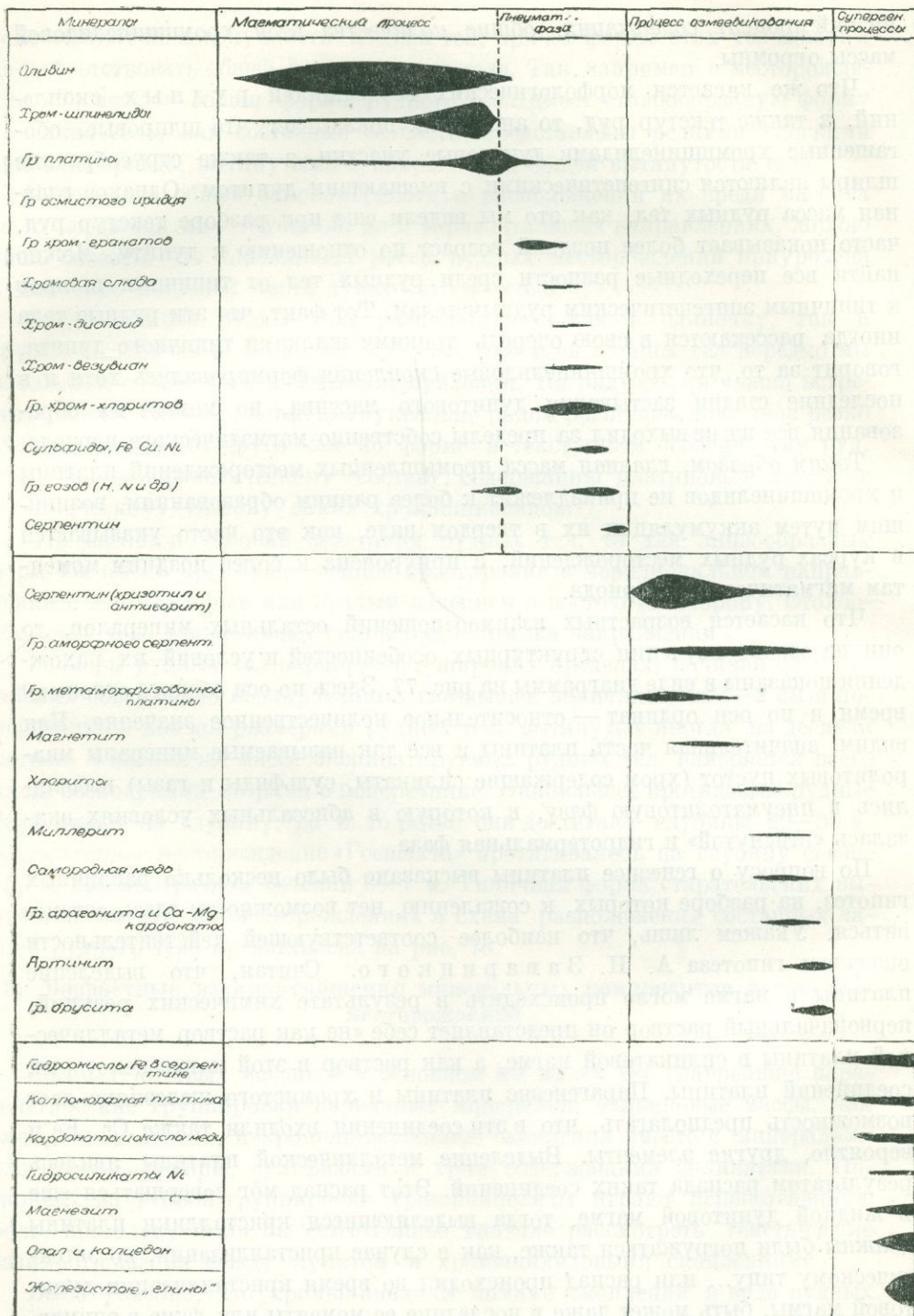


Рис. 77. Диаграмма возрастных соотношений минералов коренных месторождений платины уральского типа.

являются те участки массива, где были наиболее благоприятные условия для концентрации и последующего распада таких платину содержащих соединений. Этими участками могли быть... части, наиболее поздно застывшие, может быть даже верхние части массива, если в соединения с платиной входили легкие элементы (например, углерод)». Эти замечательные мысли были высказаны еще в 1922 г., т. е. до получения того богатого фактического материала, который был собран в последующие годы. Зимой 1925—26 гг. в Академии Наук состоялись широкие дискуссии по вопросу о генезисе платины, после которых автор этой работы посвятил специальные исследования по всем затронутым тогда вопросам. Особенно тщательному изучению были подвергнуты морфологические особенности рудных месторождений и самих руд (текстуры и структуры).

К настоящему времени можно высказать следующие главные положения, касающиеся генезиса платиновых месторождений.

1. Образование скоплений хромшпинелидов (а вместе с ними и платины) происходило, несомненно, в результате распада каких-то соединений, содержавших в себе летучие компоненты. Эти соединения, будучи первоначально растворены в магме, при общей дифференциации ее локализовались в дунитовом расплаве, где и обособились к началу раскристаллизации его. При этом первоначальный, химический состав этих обособившихся (вероятно, в газообразном состоянии) соединений был неодинаков в различных участках массива. Лишь с этой точки зрения пока может быть объяснен тот факт, что иногда можно встретить почти рядом в нескольких метрах одно от другого два пространственно изолированных хромшпинелидовых гнезда, резко отличающихся друг от друга не только по минералогическому составу руд и по химическому составу самих хромшпинелидов, но и по степени содержания в них платиновых металлов и, что особенно характерно, по текстурным и структурным особенностям самих руд. Для такого ничтожного расстояния едва ли можно допускать резкое различие в физикохимических условиях, которое могло бы обусловить появление столь различных по своим признакам рудных тел.

2. Различие в химическом составе первоначальных хром и платину содержащих соединений обуславливало несколько различный ход физико-химических процессов, приведших с различной скоростью и кразнообразным по своим морфологическим особенностям рудным образованиям, из них выделившимся. Иными словами, некоторые соединения, по всей вероятности те, в которых количество летучих компонентов, или вернее минерализаторов (водород, сера, углерод и др.) было невелико, распались в более

ранний период, возможно, даже еще в жидкой дунитовой магме. Естественно, в этом случае выпадавшие хромшпинелиды могли как бы растекаться в магме, давая расплывчатые границы шпирообразных рудных тел.

Другая часть из обособившихся в магме соединений с несколько большим содержанием летучих распадалась, естественно, несколько позже, допустим в тот момент, когда начавший раскристаллизовываться дунит имел уже вязкое состояние. Границы рудных гнезд в этом случае хотя могут быть и неправильными, но должны быть более резкими. Весьма характерно, что такие минералы, как хромгранаты, хромхлориты, хромдиоксид, сульфиды и газы, как показали карьерные разработки слесых (т. е. не выходящих на дневную поверхность) гнезд, в пространстве располагаются в миаролитовых пустотах в дуните над гнездом, т. е. за пределами рудного тела.

Наконец, представим себе еще более поздний момент распада соединений, когда значительная часть дунита уже отвердела. Естественно, что в этих случаях рудное вещество после распада соединений могло выделяться лишь вдоль трещин в уже затвердевшем дуните, давая линзообразные и жилкообразные рудные тела под влиянием той интрузивной силы, которая создавалась летучими компонентами, долго удерживавшими соединения в жидком состоянии. Нет ничего удивительного в том, что здесь при изучении текстурных особенностей по границам рудных тел мы нередко замечаем явления метасоматоза боковых пород.

К этой же категории относятся и столбообразные рудные тела с типичными брекчиевидными текстурами (Госпахта, месторождение № 6 в Александровском логу, № 4—41 в Крутом логу и др.). Чрезвычайно любопытно, что в этих случаях минералы миаролитовых пустот (хромгранаты, хромхлориты и пр.) располагаются исключительно внутри рудных скоплений, образуя с ними как бы одно целое. Это обстоятельство определенно говорит за то, что элементы, входящие в состав этих минералов и газы, заключающиеся в порах и пустотах (в частности, водород, как это с некоторой достоверностью установлено в рудах месторождения «Госпахта»), с несомненностью входили в состав тех соединений, распад которых обусловил образование рудных тел. Изучение морфологических особенностей столбообразных рудных тел и текстур руд приводит к заключению, что распад соединений происходил бурно, со взрывом и был обусловлен весьма значительным внутренним давлением, созданным летучими компонентами к моменту распада соединений. Казалось бы, что в этом отношении наши взгляды примыкают к взглядам академика А. П. Карпинского. Однако, А. П. Карпинский допускает первоначальное скопление и затвердевание хромистых железняков в нижних частях батолитов или лакколитов и при последующих взрывных процессах «материал обломочного и иного характера магматического происхождения, в котором преобладающим является хромистый железняк, выносился из глубины»... Он сравнивает «взрывной вынос хромитовых обломков» с взрыв-

ными процессами, с которыми связывают нахождение обломков алмазопносных кимберлитов в грандиозных диатремах в Южной Африке. Но в таком случае в обломках у нас должен быть хромистый железняк, как об этом и утверждает автор гипотезы. На самом же деле мы имеем, наоборот, обломки дунита, оцементированные хромшпинелидовым веществом. Так как вопрос этот в постановке А. П. Карпинского имеет весьма большое практическое значение, поэтому автор настоящей работы при разведке месторождений обратил на него серьезное внимание. В частности, на слепом типичном столбообразном месторождении № 4—41 в Крутом логу, открытом штольной, были предприняты большие разведочные и опробовательные работы на глубину и к дневной поверхности по направлению склонения рудного тела. В конце концов пришлось притти к выводу, что это столбообразное тело находится все же на месте своего образования, т. е. рудное вещество не привнесено с больших глубин. С другой стороны, если бы вынос имел действительно большой масштаб, то столбообразные рудные тела могли бы прорывать не только дуниты, но и вышележащие пироксениты, габбро, сланцы и пр. Однако, нигде никаких намеков на это мы пока не имели.

Таким образом, сопоставление и анализ морфологических особенностей рудных тел, текстур и структур руд и их вещественного состава приводит нас к заключению о выделении рудных минеральных образований не непосредственно из силикатового расплава, а из некоторых соединений из магмы в газообразном или жидком состоянии. Распад соединений мог совершаться спокойно и беспокойно, в зависимости от первоначального химического состава этих обособившихся соединений, в частности летучих компонентов, обуславливавших с одной стороны понижение температуры раскristализации (или распада) соединений, а с другой стороны создававших интрузивную силу в флюидах.

3. Распад этих соединений в основном не выходил за пределы магматического периода. Об этом свидетельствуют, с одной стороны, находки пересечения тонкими дунитовыми жилками рудных гнезд. С другой стороны, следующая за хромшпинелидовой фазой фаза выделений так называемых минералов миаролитовых пустот (хромгранатов и пр.) часто резко несогласно ведет себя по отношению к хромшпинелидам, выделяясь либо в трещинах и миаролитовых пустотах среди хромшпинелидовых скоплений, либо обнаруживая явный метасоматоз хромшпинелидов. Дунитовые прожилки, правда, могли образоваться и в пнеуматолитовую фазу, но как удалось заметить в месторождении «Госшахта», они являются более ранними по возрасту, нежели выделения хромвезувиана и хромгранатов, в наших условиях, характерных для пнеуматолитовой фазы.

4. В момент распада соединений в первую очередь формировались хромшпинелиды. Платина же оставалась, по видимому, еще в виде каких-то соединений

(возможно частью сернистых, если судить по парагенезису с редкими сульфидами), из которых выпадала несколько позднее, т. е. в пневматолитовую и отчасти может быть в гидротермальную фазу. В связи с этим следует отметить, что как только это положение было установлено, естественно напрашивался следующий практический вывод: в более ранних по возрасту рудных телах, т. е. имеющих расплывчатые границы, в момент распада соединений платиновые элементы вместе с летучими могли уходить в еще не застывшую окружающую породу, а в более поздних образованиях хромшпинелидовых скоплений вся или большая часть платины должна быть сконцентрирована только лишь внутри хромшпинелидовых тел. Это предположение блестяще подтвердилось специально поставленными автором опробовательскими работами вмещающих пород рудных тел. Оказалось, что в хромшпинелидовых телах с резкими очертаниями своих границ вся платина содержалась только в скоплениях хромшпинелидов, а в рудных телах с расплывчатыми границами она устанавливалась в промышленных содержаниях, также и за пределами тел на расстоянии иногда нескольких метров. Таким образом, при эксплуатации отдельных рудных тел было установлено правило: если рудные скопления имеют у своих границ резкий контакт с боковыми породами, то добываемая руда должна подвергаться сортировке, так как боковые породы, не содержащие хромшпинелидов, обычно не содержат и платины; если же границы хромшпинелидовых скоплений расплывчаты и руды постепенно переходят в окружающую породу или представляют собой вообще вкрапленный тип руды, то боковая порода обязательно должна отправляться на фабрику, как содержащая еще промышленные количества платиновых металлов.

Правда, следует помнить, что не каждое скопление хромшпинелидов обязательно бывает богато платиной. На ряду с богатейшими платиной месторождениями хромшпинелидов встречаются и бедные или совершенно «пустые хромистые железняки» и потому при эксплуатации, несомненно, следует сообразоваться с этим обстоятельством, производя соответствующее опробование руд и боковых пород.

В дополнение к этому следует упомянуть также об одном любопытном факте, констатированном в месторождении № 4—41 в Крутом логу, — это месторождение представлено было слепым столбообразным рудным телом, очень богатым платиной. При этом главная масса платины была сосредоточена в самой верхней части тела. Здесь на пространстве нескольких кубических метров было добыто около 30 кг металла. Этот факт точно также говорит как будто бы за большую летучесть собственно платиновых соединений.

Мицераграфическое изучение также подтверждает, что платина выпадала позднее хромшпинелидов, причем почти всегда можно наблюдать явления замещения или коррозии более ранних выделений платиной (рис. 78, 79 и 80). Особенно это относится к месторождениям, формировавшимся

в более поздние моменты застывания дунитового массива. На ряду с типичными явлениями метасоматоза нередко можно наблюдать образование метакристаллов платины среди хромшпинелидовых зерен (рис. 4). Любопытно, что в более поздних по возрасту месторождениях платина, является определенно ксеноморфной даже по отношению к оливину.

Из сказанного можно сделать вывод, что те соединения, из которых выпадала платина, обладали достаточной химической активностью, чтобы производить химические воздействия на такие химически устойчивые минералы, как хромшпинелиды.



Рис. 78. Замещение платиной (белое) кристаллов хромшпинелида (серое). кристалл *a* в местах соприкосновения с хлоритом имеет прекрасно выраженные грани в виде прямых линий, которые на границе с платиной приобретают иззубренный характер. Месторождение — Госшахта. Увеличено в 80 раз.

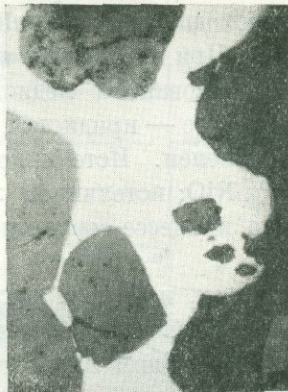


Рис. 79. Замещение платиной (белое) зерен хромшпинелида (серое и черное). Месторождение — Госшахта. Увеличено в 90 раз.



Рис. 80. Коррозия платиной (белое) хромшпинелидовых зерен (серое). На фотографии видно, что замещение следует вдоль границ между отдельными зернами хромшпинелидов. Месторождение — Госшахта. Увеличено в 80 раз.

5. По мере развития дальнейшего процесса рудоотложения после платины выделились так называемые минералы миаролитовых пустот: хромгранаты, хромхлориты, хромвезувиац, хромдиопсид и, наконец, сульфиды меди и никеля. Как было указано, в более ранних по возрасту месторождениях, эти минералы выделяются возле хромшпинелидовых скоплениях в окружающих породах часто в виде прекрасных кристалликов на стенках пустот (рис. 60). В месторождениях же, формировавшихся в более поздние моменты, они наблюдаются в миаролитовых пустотах среди хромшпинелидов. При этом нередко явления замещения ими более ранних минералов (хромшпинелидов и оливина).

Следовательно, эти минералы выделились уже в пневматолитовую фазу,

тесно связанную гидротермальную фазой, не получившей в глубинных условиях самостоятельного значения. В ассоциации с этими минералами изредка, повидимому, выпадала и платина.

Как результат последних эксудатов этого процесса, в некоторых месторождениях наблюдаются серпентиновые каемки около скоплений хромшпинелидов (рис. 64), о которых речь была выше.

6. В процессе озмеевикования дунитовых массивов обильное развитие приобретает серпентин и в связи с ним целый ряд новообразований минералов. В самые ранние моменты, когда серпентиновые растворы обладали большой активностью, происходил химический метаморфизм самородной платины и хромшпинелидов. При этом легче подвергалась метаморфизму поликсеновая разновидность с образованием медистой или медно-никелистой разновидности платины, труднее — придистая пластина, дававшая разновидности более богатые никелем. Источником никеля являлись оливнины, содержащие 0,2—0,3% NiO; источником же меди, по крайней мере отчасти, — разлагавшиеся в процессе серпентинизации медные сульфиды (рис. 67).

В трещинах, в миаролитовых и других пустотах отлагался аморфный серпентин. Самородная медь и миллерит выпадали большей частью к концу процесса серпентинизации. Последним аккордом этого процесса явилось образование карбонатов Mg и Ca, и гидроокислов магния с железом (двувалентным) — брусита и ферробрусита.

7. При супергенных процессах раньше всех появляются гидроокислы трехвалентного железа на месте хризотилового серпентина, а также карбонаты магния на месте оливина, а затем опала и магнетита за счет серпентина. Медистая платина местами, частично окисляясь, восстанавливается; никелистая платина, повидимому, постепенно теряет свой никель, и за счет этих явлений, как будто бы происходит обогащение платины в россыпях железом, т. е. образование ферроплатины.

Таковы главные положения, к которым привело детальное изучение коренных месторождений Нижне-Тагильского дунитового массива.

Если бы мы попытались проследить миграцию отдельных химических элементов при различных процессах минералообразования и их формирование в виде минералов, то получили бы следующую диаграмму (рис. 81). При рассмотрении ее бросается в глаза правило полярности минералов, установленное Дюпарком, Лодочниковым, Ларсеном и др. Особенно хорошо это проявляется в миграции кальция, который появляется в минералах лишь в пневматолитовую фазу (хромгранаты — уваровит, хромвезувиан, диопсид), совершенно отсутствуя в более ранних

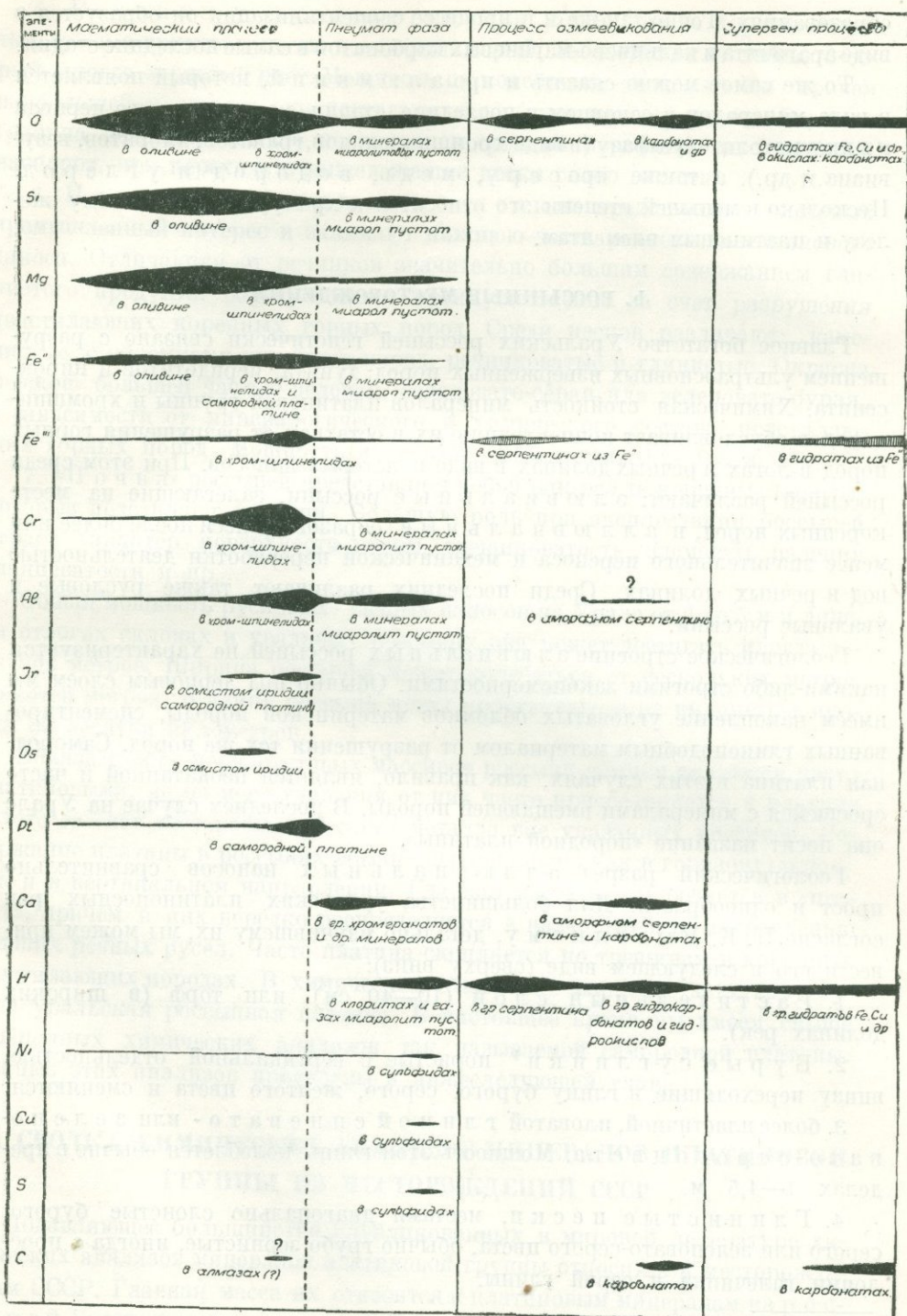


Рис. 81. Диаграмма формирования отдельных химических элементов в виде минералов при различных фазах минералообразования.

образованиях. Точно так же и в процессе серпентинизации он образуется в виде арагонита и кальциево-магниевого карбоната в самые последние стадии.

То же самое можно сказать и про а л ю м и н и й, который появляется в виде минералов в основном в последние стадии магматического периода и в пневматолитовую фазу (в виде хромшпинелидов, гранатов, хлоритов, везувiana и др.), а также про серу, медь, водород и углерод. Несколько в меньшей степени это относится к хрому, трехвалентному железу и платиновым элементам.

Б. РОССЫШНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Главное богатство Уральских россыпей генетически связано с разрушением ультраосновных изверженных пород: дунита, перидотитов и пироксенита. Химическая стойкость минералов платиновой группы и хромшпинелидов обуславливает концентрацию их в остатках от разрушения горных пород в логах и речных долинах в виде пластовых наносов. При этом среди россыпей различают: э л ю в и а л ь н ы е россыпи, залегающие на месте коренных пород, и а л л ю в и а л ь н ы е, образовавшиеся после более или менее значительного переноса и механической переработки деятельностью вод в речных долинах. Среди последних различают также русловые и увальные россыпи.

Геологическое строение э л ю в и а л ь н ы х россыпей не характеризуется какими-либо строгими закономерностями. Обычно под дерновым слоем мы имеем накопление угловатых обломков материнской породы, сцементированных глиноподобным материалом от разрушения тех же пород. Самородная платина в этих случаях, как правило, является неокатанной и часто сростшейся с минералами вмещающей породы. В последнем случае на Урале она носит название «породной платины».

Геологический разрез а л л ю в и а л ь н ы х наносов сравнительно прост и однообразен. Для большинства уральских платиноносных рек согласно Н. К. В ы с о ц к о м у, детально изучившему их, мы можем привести его в следующем виде (сверху вниз):

1. Р а с т и т е л ь н ы й с л о й (10—40 см) или торф (в широких долинах рек).

2. Б у р ы е с у г л и н к и¹ пористые с вертикальной отдельностью, внизу переходящие в глину бурого, серого, желтого цвета и сменяются:

3. более пластичной, иловатой г л и н о й с и н е в а т о - и л и з е л е н о в а т о - с е р о г о ц в е т а. Мощность этой глины колеблется обычно в пределах 1—4,5 м.

4. Г л и н и с т ы е п е с к и, местами диагонально слоистые бурого, серого или зеленовато-серого цвета, обычно грубо зернистые, иногда с прослоями галечника и серой глины.

¹ Если в качестве растительного слоя имеем торф, то эти суглинки обычно отсутствуют.

5. Речники, т. е. слоистые галечники, состоящие из хорошо обмытых галек с примесью песка и имеющие серый, зеленовато-или синевато-серый, иногда охристый цвет. Мощность их колеблется от 0,2 до 3 м, причем наибольшей мощности они достигают в середине речных долин. Верхняя граница речников обычно неровная со следами перемыва, зато нижняя, наоборот, при переходе в нижележащие пески слабо заметна.

6. Платину содержащие «пески» представляют главный промышленный интерес и занимают нижнюю часть речного галечникового наноса. Отличаются от речников значительно большим содержанием глинистого продукта, образующегося преимущественно за счет разрушения подстилающих коренных горных пород. Среди песков различают: каменистые, с обломками коренных пород, речниковатые и глинистые. Окраска «песков» большей частью зеленая, зеленовато-серая или зеленовато-бурая, в зависимости от минералогического и химического состава подстилающих горных пород. Мощность их обычно небольшая: 0,2—0,5 м.

7. «Почва» россыпей представляет собой как раз те коренные породы, которые подстилают россыпи. Большую роль при эксплуатации россыпей играет характер поверхности почвы, трещиноватость, элементы падения сланцеватости и пр.

Общая мощность русловых речных наносов на Урале от 2 до 5 м и лишь на отлогих склонах и увальных россыпях она может достигать иногда десятков метров. Ширина россыпей может колебаться от нескольких метров до сотен метров. В длину россыпи могут протягиваться на километры, иногда на десятки километров.

Вблизи габбро-перидотитовых массивов россыпи обычно являются чисто платиновыми, но по мере удаления от них часто присоединяется к платине золото за счет месторождений этого металла вне указанных массивов. Содержание платины в россыпях обычно неравномерно как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Главная масса ее заключается в «песках», причем в них нередко распределяется в виде «струй» по направлению бывших речных русел. Часто платина скопляется по трещинам в коренных подстилающих породах. В химическом отношении наиболее детально изучена уральская россыпная платина. В настоящее время мы имеем свыше 100 полных химических анализов так называемой самородной платины. Данные этих анализов приведены в нижеследующей главе.

IV. СВОДКА ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СССР

подавляющее большинство опубликованных в мировой литературе химических анализов минералов платиновой группы относится к месторождениям СССР. Главная масса их относится к платиновым минералам из россыпей Уральских месторождений. Платина из коренных месторождений химически изучалась лишь в последнее время.

АНАЛИЗЫ САМОРОДНОЙ ПЛАТИНЫ И ПЛАТИНИСТОГО ИРИДИЯ

1. Платина из коренных месторождений Нижне-Тагильского дунитового массива

Валовые анализы

	1	2	3	4	5	6	7*	8
Нер. ост. ¹	15,00	3,80	3,45	5,02	4,64	2,50	2,42	8,80
Pt	55,75	70,00	70,92	74,26	74,46	75,51	74,64	77,87
Ir	1,08	1,50	1,88	1,56	1,82	1,50	1,80	1,53
Rh	0,36	0,60	0,23	1,00	0,54	0,60	0,74	0,31
Pd	0,15	0,06	0,20	сл.	сл.	0,24	0,05	0,21
Au	не опр.	не опр.	сл.	отс.	0,24	отс.	отс.	не опр.
Cu	11,43	8,20	7,97	5,30	4,78	4,28	4,05	»
Fe	14,97	14,30	12,57	11,60	12,25	11,87	12,53	11,00
Ni	1,45	—	1,50	1,01	0,95	2,03	3,70	не опр.
Сумма	100,19	98,46	98,72	99,68	99,68	98,53	99,93	99,72

1. Александровский лог 69. Минераграфическое изучение этой платины показало, что она сплошь состояла из одной только медистой разновидности (купроплатины).

2. Крутой лог 4—02. В полированных шлифах под микроскопом в отдельных зернах можно было заметить остатки первичной платины.

3. Крутой лог 4—76. В полированных шлифах в отдельных зернах можно было заметить остатки первичной платины.

	9	10	11	12	13	14	15	16
Нер. ост.	3,60	2,76	9,73	5,13	4,40	8,20	5,75	5,90
Pt	75,80	73,27	69,42	75,00	74,23	68,55	72,44	75,01
Ir	3,80	4,08	4,07	4,26	4,85	6,19	7,00	7,20
Rh	0,60	0,43	0,74	1,14	0,55	0,98	1,00	0,70
Pd	0,12	0,18	0,11	0,14	сл.	0,10	0,20	0,18
Au	отс.	отс.	отс.	0,01	»	не опр.	не опр.	не опр.
Cu	2,92	5,10	3,45	1,93	3,38	3,48	2,00	0,50
Fe	11,74	12,60	11,78	11,05	12,20	12,06	11,24	10,86
Ni	0,80	1,05	0,40	0,96	0,44	0,27	0,30	0,50
Сумма	99,38	99,47	99,40	99,52	100,11	99,83	99,99	100,85

4. Александровский лог 20. Количество первичной платины по объему, примерно, равнялось купроплатине, тесно сросшейся с первичной платиной.

5. Крутой лог 4—42. Количество первичной платины несколько преобладает над купроплатиной.

6. Александровский лог 47-а. Для анализа была отобрана слабомагнитная фракция. Остальная часть платины была проанализирована фракционно. Анализы см. ниже.

7. Александровский лог 47. Под микроскопом в шлифах первичной платины обнаружено не было. Эта платина получена из гнезда хромистого железняка, расположен-

¹ Нерастворимые остатки во всех анализах при исследовании оказывались на 90—95% представленными хромшпинелидами.

ного рядом с предыдущим (№ 47а). По морфологическим особенностям оба гнезда совершенно одинаковы.

8. Сырков лог 3—02. По минераграфическим данным измененная (вторичная) платина совершенно отсутствует. По составу платина отвечает поликсену.

9. Александровский лог 19. Количество измененной платины по шлифам из зерен ничтожно.

10. Александровский лог 26. Минераграфически платина изучена не была.

11. Александровский лог 76. Минераграфически не изучалась.

12. Соловьев лог 5—22. В шлифе из отдельных зерен метаморфизованной платины не было замечено. По составу платина отвечает поликсену.

13. Александровский лог 115. Минераграфически платина не изучалась.

14. Александровский лог 87. В шлифах из анализированного материала метаморфизованной платины замечено не было. По составу платина отвечает поликсену.

15. Сырков лог 3—05. В шлифах из анализированного материала метаморфизованной платины замечено не было. По составу платина отвечает поликсену.

16. Госшахта. В шлифах метаморфизованной платины наблюдалось ничтожное количество.

В вышеприведенном списке все анализы расположены в порядке возрастания так называемого «растворимого иридия» (см. строку Ir), благодаря чему удастся заметить некоторую закономерность в количественных соотношениях отдельных элементов. Так, например, совершенно определенно можно видеть, что с повышением содержания иридия в самородной платине значительно понижается содержание меди. То же самое до некоторой степени относится и к никелю и железу. Особенно это хорошо будет видно, если мы из нашей суммы попытаемся исключить цифры нерастворимого остатка, состоящего почти всецело из хромшпинелидов и являющегося, таким образом, чуждым самородной платине минералом, а остающиеся данные пересчитаем на 100.

Соотношения между иридием и платиной неясны. Во всяком случае с повышением иридия содержание платины не понижается и этим лишь обуславливается высокопробность богатых иридием разновидностей. Если бы мы обратились к внешнему виду анализировавшейся платины, то заметили бы, что все более темные разновидности богаты содержанием меди, а более светлые (за исключением анализа № 8), наоборот, характеризуются повышенным содержанием иридия и пониженным — меди. Однако, после обработки слабой концентрацией царской водки, т. е. после того, как наружные «каймы» медистой платины перейдут в раствор, остатки приобретают также светлый вид.

Магнитные свойства наиболее резко выражены у богатых медью разновидностей. Они же обладают и большей хрупкостью.

Если бы мы из 16 анализов коренной платины вывели бы среднее и

Средний химический состав	Pt	Ir	Fe	Cu	Ni	Pd	Rh	OsIr
Коренной платины	76,7	3,7	13,0	5,1	1,0	0,1	0,6	?
Россышной платины	77,5	2,8	14,0	2,8	сл.	0,3	0,6	2,0

сравнили бы его со средним россышной платины из того же Нижне-Тагильского округа, то заметили бы значительную разницу в содержании меди и никеля.

Коренная платина почти вдвое богаче медью по сравнению с россышной и несравненно богаче никелем. Этот факт чрезвычайно характерен. По всей вероятности в процессе движения в россыши наружные медь и никель содержащие «каймы» зерен платины, с одной стороны, быстро изнашиваются, а с другой, повидимому, имеет место вообще химический вынос меди и никеля даже из первичной платины и за счет этого обогащение железом.

Приведем далее конечные результаты фракционного анализа коренной платины, произведенного Б. Г. К а р и о в ы м. При этом первые семь анализов отвечают п е р в и ч н о й, т. е. не затронутой метаморфизмом платине, а вторые восемь анализов в т о р и ч н о й платине. Лишь анализы 5, 6 и 7 не относятся к коренным месторождениям и представляют собой анализы платинистого иридия.

	Ириди- стая платина 1	Поли- ксен 2	Поли- ксен 3	Поли- ксен 4	Плати- нистый иридий 5	Плати- нистый иридий 6	Платини- стый ири- дий 7
Pt	76,98	80,87	} 85,59	86,4	19,64	22,5	4,75—12,25
Ir	10,39	7,00		—	—	76,85	66,3
OsIr	—	—	—	—	—	—	87,12—70,39
Pd	—	—	—	—	0,89	0,5	—
Os	—	—	—	—	—	сл.	—
Ru	—	—	—	—	—	»	—
Rh	—	—	—	—	—	5,8	—
Cu	0,01	0,28	1,60	0,6	1,78	0,4	—
Fe	11,56	9,50	11,20	11,2	—	3,2	—
Ni	0,86	?	0,58	?	—	—	—
Сумма . . .	99,80	97,65	98,97	98,20	99,16	98,7	—

1. Госпахта. Изучение полированного шлифа из зерен платины показало, что кроме иридной платины в массе присутствует около 30—40% поликсен.

2. Госпахта. Недостающая сумма относится к никелю, родию и палладию. Валовой анализ см. выше (№ 16).

3. Александровский лог 47-а. Содержание иридия невысокое 1—2%. Валовой анализ см. выше (№ 6).

4. Крутой лог 4—42. Валовой анализ см. выше (№ 5).

5. Невьянский район. Старый анализ С в а н б е р г а.

6. Витимский район (В. Сибирь). Анализ Ч е р н и к а. Уд. вес 21,6.

7. Нижне-Тагильский район. П о К о с и ц к о м у.

8. Крутой лог 4—42. Валовой анализ см. выше (№ 5).

9. Крутой лог 4—02. Проанализирована лишь первая вытяжка слабо концентрированной царской водкой.

10. Александровский лог 20. Валовой анализ см. выше (№ 4).

11. Александровский лог 47-а. Валовой анализ см. выше (№ 6).

12. Крутой лог 4—68. Платина была вросшей в серпентин и имела слабый розоватый оттенок.

13. Александровский лог 69. Пересчитанный анализ за вычетом нерастворимого остатка см. выше (№ 1).

14. Госшахта. Валовой анализ см. выше (№ 16).

15. Александровский лог 47. Пересчитанный анализ за вычетом нерастворимого остатка см. выше (№ 7).

	Купро- платина 8	Купро- платина 9	Купро- платина 10	Купро- платина 11	Купро- платина 12	Купро- платина 13	Нике- листая платина 14	Нике- листая платина 15
Pt	72,9	68,0	74,60	74,60	10,59	65,4	73,68	76,6
Ir	—	—		—	—	—	1,3	7,48
Rh	—	—	—	—	—	0,4	—	0,7
Pd	—	—	—	—	нет	0,2	—	0,1
Cu	8,4	14,0	7,76	10,50	10,07	13,4	2,14	4,2
Fe	14,8	16,20	15,85	12,00	6,0	17,6	13,63	12,8
Ni	?	?	?	1,70	0,11	1,7	3,17	3,8
Сумма	96,1	98,20	98,21	98,90	—	100,00	100,10	100,0

2. Платина из россыпных месторождений

а) Анализы самородной платины

Анализы самородной платины из Нижне-Тагильского района

	1	2	3	4	5	6	7	8
OsIr	5,68	4,95	5,78	3,53	1,66	3,68	1,57	7,99
Pt	68,95	70,15	71,20	72,61	76,51	73,70	73,02	68,72
Ir	1,34	1,03	1,15	1,14	—	1,15	1,68	4,73
Rh	3,30	3,61	3,46	3,10	—	3,12	0,98	2,48
Pd	0,21	0,20	0,18	0,23	—	0,23	0,51	0,20
Au	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	1,59	1,16	0,50	0,32	3,12	1,47	3,20	0,30
Fe	18,93	18,90	17,73	17,13	17,78	16,65	16,42	15,58
Ni	—	—	—	—	0,98	—	1,05	—
Сумма	100,00	100,00	100,00	98,06	100,00	100,00	98,43	100,00
Уд. вес	13,4	14,1	13,5	14,618	—	14,8	14,041	11,73

1. Точно месторождение неизвестно. Платина черная, немагнитная, мелкие зерна, отобранные из черной платины, перед анализом промыты кислотами; ферроплатина.

2. То же. Платина черная, немагнитная, отобранная из черной платины, промыта кислотами; ферроплатина.

3. То же. Платина черная, немагнитная, отобранная из белой платины, промыта кислотами; ферроплатина.

4. То же. Платина черная, магнитная; ферроплатина.

5. С рч. М. Бобровка. Платина светлосерая, магнитная, большей частью ферроплатина; проанализирована часть, выделенная из смеси с самородным железистым никелем, следы которого открыты в платине.

6. Месторождение неизвестно. Платина серая, магнитная; отобранная из черной платины, промыта кислотами.

7. С рч. Б. Бобровки. Платина светлосерая, магнитная, большую часть ферроплатина.

8. Из Нижне-Тагильских россыпей. Платина свинцово-серая, немагнитная (самородок); ферроплатина.

	9	10	11	12	13	14	15	16
OsIr	0,57	2,62	4,47	1,22	4,54	0,71	0,50	2,12
Pt	76,39	73,42	41,94	76,18	74,67	78,75	78,63	77,48
Ir	—	1,12	1,18	1,62	0,83	} 3,96	} 2,79	} 6,35
Rh	—	2,30	2,76	0,47	2,26			
Pd	6,14	0,15	0,14	0,50	0,18	0,15	0,20	
Au	—	—	—	—	—	—	—	
Cu	—	2,01	3,72	2,16	1,98	0,56	1,66	
Fe	16,60	15,88	15,79	15,92	15,54	15,67	15,57	14,71
Ni	—	—	—	0,68	—	—	—	—
Сумма	99,70	97,50	100,00	98,75	100,00	99,80	99,41	100,66
Уд. вес	—	14,42	13,52	15,368	14,6	—	—	—

9. Архиповский лог. Платина черная, ферроплатина, неокатанная, грубозернистая, выкристаллизовавшаяся в хромите.

10. Месторождение точно неизвестно. Платина светлосерая, магнитная, отобранная из белой платины; ферроплатина.

11. То же. Платина черная, магнитная, отобранная из белой платины, промытая кислотами; ферроплатина.

12. Из нижней части течения рч. Черной. Платина светлосерая, магнитная, большей частью ферроплатина, с небольшой примесью поликсена.

13. Месторождение неизвестно. Платина серая, магнитная, отобранная из белой платины, промыта кислотами; ферроплатина.

14. Р. Висим. Платина черная, магнитная, грубозернистая; неокатанная платина, выкристаллизовавшаяся в хромите; смесь ферроплатины и поликсена.

15. Верховья р. Чаужа. Платина черная, магнитная, грубозернистая; неокатанная платина, выкристаллизовавшаяся в хромите; смесь ферроплатины и поликсена.

16. Белогорский лог. Платина черная, магнитная, грубозернистая; неокатанная платина, выкристаллизовавшаяся в хромите; смесь ферроплатины и поликсена.

17. Из Соловьева лога. Платина черная, магнитная, грубозернистая, неокатанная платина, выкристаллизовавшаяся в хромите; смесь ферроплатины и поликсена.

18. Крутой лог. То же самое.

19. Р. Сисим. То же самое.

20. Иосифовский прииск по речке Мартьяну. Платина темносерая; магнитная; смесь ферроплатины и поликсена.

21. Надеждинский прииск. Платина темносерая, сильно магнитная.

22. Месторождение точно неизвестно. Платина светлосерая, магнитная; смесь ферроплатины и поликсена.

23. Александровский лог. Платина темносерая, сильно магнитная.

24. Верховья речки Чаужа. Платина светлосерая, магнитная; угловатые зерна срощены с серпентинизованным оливином; смесь ферроплатины и поликсена.

25. Из Авроринского прииска. Платина шлиховая темносерая, сильно магнитная.

	17	18	19	20	21	22	23	24
OsIr	1,45	1,35	1,02	1,95	1,39	2,30	4,46	0,61
Pt	78,99	75,37	79,56	75,34	77,28	73,58	74,33	81,52
Ir	} 5,31	} 8,04	} 3,62	2,20	} 3,28	2,35	} 4,22	1,13
Rh				0,25		1,15		0,58
Pd				0,20		0,30		0,43
Au				—		—		—
Cu				0,59		3,96		4,17
Fe	14,77	14,58	14,04	13,80	13,88	12,98	12,66	12,86
Ni	—	—	—	0,70	—	—	—	0,22
Сумма	100,52	99,34	98,83	98,40	100,00	97,86	100,00	99,10
Уд. вес	—	—	—	15,273	16,33	—	16,60	16,817

26. Из Авроринского коренного месторождения. Платина светлосерая, слабо магнитная; самородочки, сросшиеся с оливином.

27. Из Александровского лога. Платина светлосерая, слабо магнитная; смесь поликсена и ферроплатины.

28. Месторождение точно неизвестно. Свинцово-серая, немагнитная, самородок; смесь поликсена и ферроплатины.

	25	26	27	28	29	30	31	32
OsIr	4,16	2,60	3,97	2,33	1,29	1,34	0,50	1,09
Pt	74,56	76,62	78,11	77,14	80,43	78,38	76,40	78,92
Ir	} 5,06	1,12	0,55	5,10	2,86	5,32	4,30	3,97
Rh		0,33	1,32	2,74	0,20	2,79	0,30	2,57
Pd		5,95	0,50	0,22	0,56	0,17	1,40	0,24
Au		0,05	следы	следы	следы	следы	0,40	—
Cu		4,17	0,90	3,55	0,34	2,22	0,28	4,10
Fe	12,12	12,19	11,98	12,13	12,00	11,72	11,70	11,52
Ni	следы	следы	следы	следы	0,08	—	следы	—
Сумма	100,00	99,76	99,98	100,00	99,65	100,00	99,10	98,56
Уд. вес	16,60	—	15,700	16,27	16,544	17,2	—	17,18

29. Авроринское коренное месторождение. Платина серебристо-белая, магнитная; небольшой самородок кристаллического сложения, вроски в оливине непосредственно; смесь поликсена и ферроплатины.

30. Месторождение точно неизвестно. Платина светлосерая (белая), немагнитная; отобранная из белой платины; промытая кислотами; смесь поликсена и ферроплатины.

31. То же. Платина светлосерая; смесь поликсена и ферроплатины.

32. То же. Платина светлосерая, немагнитная; смесь поликсена и ферроплатины.

33. Месторождение точно неизвестно. Платина серая, немагнитная, отобранная из белой платины, промытая кислотами; смесь поликсена и ферроплатины.

34. То же. Платина светлосерая, немагнитная, отобранная из черной платины, промытая кислотами; смесь поликсена и ферроплатины.

35. То же. Платина серая, немагнитная, отобранная из черной платины, промытая кислотами; смесь поликсена и ферроплатины.

36. То же. Платина светлосерая, немагнитная; смесь поликсена и ферроплатины.

	33	34	35	36	37	38	39	40
OsIr	2,69	1,19	1,88	1,96	1,04	1,80	2,35	2,74
Pt	82,16	81,34	82,46	78,94	81,72	83,07	77,50	81,85
Ir	1,00	2,42	1,21	4,37	1,81	1,91	1,45	4,00
Rh	2,19	2,14	2,35	0,86	2,44	0,59	2,80	0,71
Pd	0,25	0,30	0,23	0,28	0,30	0,26	0,85	0,67
Au	—	—	—	—	—	—	следы	—
Cu	0,21	1,13	0,64	0,70	0,95	1,30	2,15	0,40
Fe	11,50	11,48	11,23	11,04	10,94	10,79	9,60	9,55
Ni	—	—	—	—	—	—	—	следы
Сумма	100,00	100,00	100,00	98,75	99,20	99,72	100,00	99,22
Уд. вес	16,5	17,7	16,4	—	17,500	—	—	—

37. Из Нижне-Тагильских россыпей. Платина черная, немагнитная; смесь поликсена и ферроплатины.

38. Из Нижне-Тагильских россыпей. Платина светлосерая; смесь поликсена и ферроплатины.

39. Из Нижне-Тагильских россыпей (точное местонахождение неизвестно). Платина темносерая; большей частью поликсен с небольшой примесью ферроплатины.

40. Авроринское коренное месторождение. Платина серебристо-белая, слабомагнитная; большей частью поликсен; была включена непосредственно в дунит.

	41	42	43	44	45	46	47	48	49
OsIr	1,50	1,25	3,33	2,10	1,90	1,68	0,72	0,28	11,56
Pt	77,16	78,70	81,02	78,60	78,63	78,21	86,10	85,05	73,11
Ir	2,68	2,25	следы	5,10	0,97	0,97	4,29	0,24	2,00
Rh	0,54	0,46	—		2,08	2,07		1,66	0,20
Pd	0,27	0,21	—	1,08	1,08	1,20	0,12		
Au	—	—	—	—	—	1,12	—		
Cu	3,39	3,01	3,14	—	1,30	1,30	0,71	3,35	
Fe	14,72	13,70	8,18	14,08	13,77	13,39	8,46	10,88	8,10
Ni	—	—	0,75	—	0,27	—	—	—	0,08
Сумма	100,26	99,58	96,42	99,88	100,00	98,70	100,69	100,02	99,94
Уд. вес	—	—	—	—	—	—	—	—	—

41. Анализ Дюпарка. Платина представляла смесь различных типов.

42. Анализ Кауфмана. Средняя проба из большой партии платины.

43. Месторождение точно неизвестно. Платина светлосерая, магнитная, большей частью поликсен.

44. Платина с рч. Облейская Каменка, светлосерая, окатанная.

45. Платина с рч. Облейская Каменка.

46. Анализ Б. Г. Карпова. Оттуда же; светлосерая, магнитная. Смесь поликсена с ферроплатиной.

47. Анализ Л. Гольца. Платина с рч. Кедровки, Баранчинского района. Светлосерая, угловатая, с редкими включениями диаллага.

48. Анализ Л. Гольца. Платина с рч. Шумихи, Баранчинского района.

49. Анализ Б. Г. Карпова. Платина немагнитная, относится к типу поликсена.

Анализы самородной платины из Исковского района

	1	2	3	4	5	6	7	8
OsIr	3,80	1,38	4,30	0,47	1,35	0,55	0,68	0,61
Pt	86,58	73,61	83,42	80,28	80,10	87,53	87,00	87,23
Ir	0,38	2,18	0,56	1,30	3,39	2,03	3,02	1,01
Rh	0,24	—	0,60					0,66
Pd	0,30	—	0,77	0,23	—	—	—	0,49
Au	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	0,57	—	0,91	2,23	1,52	0,80	0,80	0,31
Fe	7,09	—	8,75	14,69	12,50	9,09	8,50	8,24
Ni	—	—	0,03	—	1,14	—	—	—
Сумма .	98,96	—	99,34	101,58	100,00	100,00	100,00	98,55
Уд. вес	16,22	—	—	—	—	17,88	17,39	17,780

1. Вершина речки Простовищенки. Платина большей частью темносера, частью магнитная; поликсен с примесью мелких зерен ферроплатины.

2. С того же района. Платина темносера, магнитная; поликсен; большой самородок с вкрапленностью хромистого железняка.

3. С того же района. Платина большей частью темносера, частью магнитная; большей частью поликсен с примесью ферроплатины; зерна, сросшиеся с хромистым железняком.

4. С того же района. Платина черная, магнитная; ферроплатина, с примесью поликсена.

5. Верховья речки Б. Покапа. Платина темносера, магнитная; смесь ферроплатины и поликсена; мелкие зерна из светлой шливовой платины.

6. С того же места. Платина шливовая светлосера, слабо магнитная.

7. Речка Б. Покапа ниже впадения в М. Покапа. Платина светлосера; слабомагнитная.

8. С того же места. Платина светлосера, переходящая в серебристо-белую; большей частью немагнитная шливовая, т. е. в виде мелкого порошка, представляющего смесь преобладающего поликсена с одиночными зернышками ферроплатины.

	9	10	11	12	13	14	15	16
OsIr	2,38	7,85	5,41	4,41	9,24	5,55	5,83	4,37
Pt	78,70	80,79	80,44	83,19	76,80	81,07	83,58	82,46
Ir	—	1,57	4,20	3,00	3,83	0,98	0,27	1,83
Rh	—	0,52			0,45	0,74	0,36	0,26
Pd	—	—	—	—	0,30	0,60	0,55	0,61
Au	—	0,46	—	—	—	0,33	—	0,07
Cu	0,55	0,56	—	—	следы	0,36	0,46	0,66
Fe	11,20	8,55	9,60	8,70	7,50	9,46	8,10	8,29
Ni	0,14	—	—	—	следы	следы	следы	следы
Сумма .	—	100,00	103,35	101,60	98,62	99,09	99,15	98,55
Уд. вес	—	—	—	—	19,728	—	17,942	17,850

9. Верховья реки М. Покапа. Платина черная и бурочерная, магнитная; ферроплатина с примесью поликсена; неокатанные зерна, сросшиеся большей частью с магнитом, отобранные из темной шлиховой платины.

10. Вершина Шестого лога. Платина светлосерая, слабомагнитная; большей частью поликсен.

11. Шестой лог. Платина светлая; большей частью поликсен.

12. Травянистый лог. Светлая; большей частью поликсен.

13. Верх-Косьвинский прииск. Платина серебристо-белая, немагнитная; небольшие самородки, сросшиеся с хромистым железняком.

14. Усть-Косьвинский прииск. Платина светлосерая, слабомагнитная; большей частью поликсен с небольшой примесью ферроплатины.

15. Петропавловский прииск. Платина серебристо-белая, не (или очень слабо) магнитная; большей частью поликсен.

16. Александровский прииск. Платина серебристо-белая; немагнитная; большей частью поликсен.

	17	18	19	20	21	22	23	24
OsIr	5,03	4,52	3,97	5,27	3,70	3,11	3,74	2,80
Pt	83,73	84,07	85,02	84,80	86,33	83,01	84,78	84,50
Ir	0,81	1,55	1,34	0,58	—	1,13	1,14	0,90
Rh	0,53	0,77	0,30	1,00	1,15	1,89	1,70	2,90
Pd	0,41	0,21	0,35	0,30	0,42	1,07	0,78	0,05
Au	—	—	—	—	—	—	следи	—
Cu	0,25	0,52	0,60	0,50	0,50	0,97	0,54	0,60
Fe	7,67	7,49	8,10	7,72	7,90	8,68	7,53	7,55
Ni	следи	следи	следи	следи	—	следи	следи	—
Сумма	98,43	99,13	99,68	100,17	100,00	99,86	100,21	99,36
Уд. вес	17,805	18,080	17,805	18,131	17,873	16,940	17,799	—

17. Владимирский прииск. Платина серебристо-белая, немагнитная; большей частью поликсен.

18. Ильинский прииск. Платина серебристо-белая, немагнитная; большей частью поликсен.

19. Анно-Иосифовский прииск. Платина серебристо-белая, немагнитная; большей частью поликсен.

20. Юрьевский прииск. Платина серебристо-белая, немагнитная; большей частью поликсен.

21. Маринский прииск. Платина серебристо-белая, немагнитная; большей частью поликсен.

22. Лог, вдающийся в р. Ис. Морозный прииск. Платина темная—«в кожухе», а после промывки соляной кислотой—серебристо-белая; большей частью поликсен.

23. Оттуда же. Платина серебристо-белая, немагнитная; большей частью поликсен.

24. Месторождение точно неизвестно. Платина серебристо-белая, немагнитная; большей частью поликсен.

25. Из Нижне-Турьинска. Платина светлосерая, частью магнитная.

26. Река Тура. Маломальский прииск. Платина светлосерая, очень слабо магнитная; поликсен.

	25	26	27	28	29	30	31	32
OsIr	3,17	4,00	4,32	0,18	0,20	0,33	0,40	2,61
Pt	82,72	85,68	84,59	90,16	86,98	88,98	88,06	84,45
Ir	1,16	1,92	1,60	0,33	2,57	—	0,22	4,84
Rh	1,38		0,23	1,32	0,58	3,49	0,78	
Pd	0,17		0,22	1,18	0,55	0,90	1,36	
Au	—		—	—	—	—	0,07	
Cu	1,77	0,63	0,33	0,38	0,48	0,08	0,54	—
Fe	11,58	7,77	8,07	6,26	8,64	7,03	8,12	8,10
Ni	—	—	следы	следы	—	—	следы	—
Сумма	101,95	100,00	99,36	99,81	100,00	100,88	99,55	100,00
Уд. вес	—	17,73	—	18,040	—	—	17,940	—

27. Река Тура. Екатерининский прииск. Платина светлосерая, очень слабо или немагнитная; большей частью поликсен.

28. Прииск Качканар. Платина светлосерая, немагнитная; поликсен.

29. С того же места. Платина светлосерая, немагнитная; поликсен.

30. Река Выя. Речка Б. Гусевка. Платина светлосерая, немагнитная; поликсен.

31. Река Выя. Прииск Усадьба по речке Б. Гусевке. Платина серебристо-белая, немагнитная, шлиховая платина; большей частью поликсен.

32. Река Выя. Пророко-Ильинский прииск. Платина серебристо-белая, немагнитная; поликсен.

	33	34	35	36	37	38	39	40		
OsIr	4,47	3,23	5,73	4,24	0,23	3,23	3,38	4,99		
Pt	85,10	83,90	83,10	84,30	81,94	83,90	81,32	82,46		
Ir	1,38	2,29	—	—	3,37	2,29	4,30	1,79		
Rh	0,30		0,47	0,52				0,69		
Pd	0,30		0,21	0,28				0,35	0,21	0,18
Au	0,09		—	—				0,04	—	0,27
Cu	0,63	0,44	0,02	—	—	0,44	0,54			
Fe	7,86	9,45	10,40	10,55	14,46	9,45	11,00	9,49		
Ni	—	—	—	—	—	—	—	—		
Сумма	100,13	99,52	100,00	100,00	100,00	99,52	100,00	100,41		

33. Анализ Кауфмана. Проба представляла смесь различных районов р. Иса.

34. Анализ Гольца. Из Светлого Бора (лог № 1).

35. Анализ представляет собой результат аффинажа большой партии платины . Иса.

36. Тоже.

37. Анализ Гольца. Платина с р. Каменки (М. Каменушка).

38. Анализ Гольца. Платина с лога № 1, выпадающего в р. Ис; белая смесь поликсена с ферроплатиной.

39. Анализ Гольца. Платина с лога № 2, выпадающего в р. Ис.

40. Анализ Тюрингера. Платина с Каменушки; смесь поликсена с ферроплатиной.

Анализы самородной платины из Кытлым-Косьвинского района и Денежкина Камня

	1	2	3	4	5	6	7	8
OsIr	4,35	0,76	20,07	6,09	0,79	0,90	20,21	3,10
Pt	78,54	83,12	64,65	78,62	83,50	87,23	60,39	81,87
Ir	} 4,48	1,30	1,55	1,22	2,74	1,61	6,80	} 3,35
Rh		0,67	1,57	0,58	0,62	0,77	0,80	
Pd		0,50	0,14	0,22	0,28	0,37	0,19	
Au		—	—	—	0,07	—	—	
Cu	} 13,07	1,55	0,32	1,83	1,14	0,21	0,49	} 0,07
Fe		11,51	11,47	11,33	11,05	8,97	11,16	
Ni		—	—	—	—	—	—	
Сумма	100,44	99,41	99,77	99,89	100,19	100,06	100,04	99,70

1. Анализ Гольца. Платина с рч. Тылай, притока М. Сосновки; черная.
2. Анализ Гольца. Платина с рч. Кытлым.
3. Анализ Гольца. Платина с рч. Иов; черная с включениями хромита.
4. Анализ Кауфмана. Платина с рч. Тылай; черная.
5. Анализ Тюрингера. Платина с рч. Кытлым, серого цвета.
6. Анализ Кауфмана. Платина с рч. М. Косьвы, светлосерая.
7. Анализ Тюрингера. Платина с рч. Иов, черная с включениями хромита.
8. Анализ Кауфмана. Платина с рч. Сольвы (Денежкин Камень).

Анализы самородной платины из Сысертского района и Южного Урала

	1	2	3	4
OsIr	9,58	8,76	13,03	1,49
Pt	77,16	80,30	74,92	88,16
Ir	} 4,37	5,26	7,54	0,43
Rh		0,50	0,35	1,06
Pd		0,30	0,35	0,31
Au		—	—	—
Cu	} 8,93	2,05	1,82	0,82
Fe		2,63	2,33	7,70
Ni		—	—	—
Сумма	100,04	99,80	100,31	100,01

1. Анализ Гольца. Платина с рч. Крутойрки, серая.
2. Анализ Кауфмана. Платина с рч. Омутная.
3. Тоже.
4. Южный Урал, рч. Камышлы-Аяту (восточнее Могутовской станицы).

Таким образом, из общего обзора всех этих анализов мы видим значительные колебания в составе самородной платины. Однако, для различных районов Урала мы имели все специфические особенности состава. Эти особенности видны из нижеприводимых средних составов платины для различных районов Урала.

Средний состав самородной платины из различных районов Урала

	OsIr	Pt	Ir	Rh	Pd	Cu	Fe
Нижне-Тагильский р.	1,37	77,93	2,46	0,50	0,24	3,20	14,21
Светлый Бор Исов. р.	4,86	81,93	2,19		0,21	0,50	9,08
Вересовый Бор. Исов. р.	1,68	84,60	1,88		0,45	1,02	9,84
Река Ис	4,68	84,17	1,37	0,57	0,40	0,55	7,95
Речка М. и Б. Каменушка Исов. р.	4,99	82,46	1,79	0,69	0,18	0,54	9,49
Речка Кытлым (Каменно-Косьвинский массив) Кытл.-Косьвинск. р.	0,79	83,50	2,74	0,62	0,28	1,14	11,05
Речка Тылай (массив Сосновского увала) Кытлым-Косьвинский р.	5,22	78,58	1,22	0,58	0,22	1,83	12,20
Речка Иов (Конжаковский массив) Кытл.-Косьвинский р.	20,21	60,39	6,80	0,80	0,19	0,49	11,16
Речка Сольва (массив Денежкина Камня)	3,00 ¹	83,61	1,09	0,24	0,58	0,93	8,77
Река Омутная, Сысертский р. . . .	10,88	77,61	6,40	0,42	0,32	1,93	2,48

Анализы самородной платины из различных Сибирских месторождений

	1	2	3	4	5
OsIr	70,30	15,50	0,95	11,0	12,20
Pt	25,84	} 72,85	86,34	68,9	62,14
Ir	следы		1,30	0,9	6,80
Rh	—		0,53	2,0	6,80
Pd	—		} 2,70	0,54	0,1
Cu	—	0,55		0,5	0,20
Fe	следы	9,03	9,10	13,6	10,40
Ni	—	—	0,06	—	—
Сумма . .	96,14	100,08	99,37	98,8	—
Уд. вес . .	—	—	17,11	14,79	—

1. Из Алтайских золотоносных россыпей рч. Каяча (приток р. Устюбы).
2. Анализ Б. Г. Карпова. Из Кузнецкого Алатау, рч. Томь. Платина в виде мелких пластинчатых зернышек.
3. Анализ его же. Из Урянхайского края с рч. Серлиха. Платина немагнитная, поликсен.
4. Анализ Г. Черника. Витимский район с рч. Агыпа (?). Платина в виде окатанных темных зерен.
5. Анализ Б. Г. Карпова. Верхоянско-Колымский край, урочище Чибгалы. Платина в виде мелкого порошка темносерого цвета, с блестками осмистого иридия по внешнему виду очень похожа на платину с р. Вилюя.

¹ По анализам Б. Г. Карпова, Д. С. Белянкина и Гольца, остальные по Дюпарку.

Анализы самородной платины из Вилюйского района
(Восточной Сибири)

	6	7	8	9	10	11	12
OsIr	10,70	10,58	13,6	15,7	16,48 ¹	12,40 ²	17,56
Pt	65,43	67,68	65,9	65,7	63,51	65,71	62,90
Ir	0,40	0,15	4,4	4,3	2,19 ²	4,37	13,10
Rh	3,90	} 5,08	4,8	3,2	4,44	} 3,37	—
Pd	0,87		0,1	0,2	0,99		—
Ru	2,32	} сл.	—	—	—	} 14,15	—
Au	0,22		2,6	1,5	0,19		—
Cu	0,40	0,48	0,1	0,2	—	—	—
Fe	10,70	10,70	7,3	8,1	11,69	—	—
Ni	0,18	0,14	—	—	—	—	—
Песок	4,25	5,18	—	—	—	—	—
Сумма . .	99,37	99,89	98,8	98,9	99,49	100,00	93,56
Уд. вес . .	14,65	—	—	—	—	—	—

6 и 7. Анализы Б. Г. Карпова. Платина с р. Вилюя из косы у лев. берега близ устья р. Илигира.

8 и 9. Анализы Г. Черника.

10. Анализ Н. И. Подкопаева.

11. Анализ Брандта во Франкфурте на Майне.

12. Анализ Ф. Ю. Жерве.

Как видим из этих анализов, сибирская платина чем-либо существенно особенным не отличается от уральской платины, за исключением разве платины с Вилюйского района, богатой родием.

б) Анализы осметистого иридия из Уральских и Сибирских россыпных месторождений

	1	2	3	4	5	6	7
Ir	77,20	70,36	64,50	43,94	43,28	46,77	55,24
Rh	0,50	4,72	7,70	1,65	5,73	3,15	1,51
Pt	1,10	0,41	2,80	0,14	0,62	—	10,08
Ru	0,20	—	—	4,68	8,49	—	5,85
Os	21,00	23,01	22,90	48,85	40,11	49,34	25,32
Au	следы	0,21	0,90	0,11	0,78	—	следы
Fe	—	1,29	1,40	0,63	0,99	0,74	»
Сумма . .	100,00	100,00	100,20	100,00	100,00	100,00	98,00

¹ Нерастворимый остаток

² Вместе с рутением.

Все приведенные здесь анализы (№ 1—7) выполнены Сен-Клер-Девилем и Дебрэ и относятся к Уральским месторождениям.

	8	9	10	11	12	13
Ir	43,0	40,00	42,2	34,8	42,5	44,7
Rh	0,2	2,3	0,2	0,1	0,2	1,8
Pt	7,2	7,4	5,6	8,1	5,5	1,8
Ru	7,3	5,7	12,28	11,8	3,0	14,1
Os	37,0	35,3	36,1	41,9	30,6	35,6
Au	1,5	следы	0,8	следы	0,4	нет
Fe	3,5	3,1	—	2,3	?	1,6
Сумма . .	99,7	93,8	97,18	99,0	82,2	99,6
Уд. вес . .	—	—	—	—	—	17,6

8 — 12. Анализы О. Е. Звягинцева. Урал, Невьянский район, Аятско-Шайдурихинский прииск. Невьянскит в виде блестящих серебристых пластинок. Вальцовые анализы.

13. Анализ О. Е. Звягинцева. Оттуда же. Невьянскит в виде блестящих чешуек серебристо-белого цвета, специально отобранных для анализа.

	14	15	16	17	18	19
Ir	34,7	38,0	42,2	44,3	24,5	55,00
Rh	1,0	0,1	—	0,2	нет	2,87
Pt	13,6	13,0	15,0	6,6	7,4	1,97
Ru	6,2	10,0	19,02	13,4	18,3	7,68
Os	41,8	37,0	24,8	35,5	46,0	31,30
Au	нет	следы	нет	—	следы	0,45
Fe	—	2,2	—	—	2,6	—
Сумма . .	97,3	100,3	100,07	100,0	98,8	99,27
Уд. вес . .	17,78	17,0	—	—	18,36	—

14. Анализ Звягинцева. Урал, Невьянский район, Аятско-Шайдурихинский прииск. Платиновый невянскит в виде светлых окатанных зерен, специально отобранных для анализа.

15. Анализ его же. Платиновый невянскит в виде темных окатанных зерен, специально отобранных для анализа.

16. Анализ его же. Урал, Сысертский район. Рч. Красногорка (верховья р. Чусовой). Рутениевый невянскит, в виде чешуйчатых осколков кристаллов.

17. Анализ его же. Урал, Миасский район. Рч. Б. Ирмель. Рутениевый невянскит, в виде чешуек и пластинок, а также кристалликов с вогнутыми гранями.

18. Анализ его же. Забайкалье, рч. Магин-Шано (приток Джидды). Рутениевый сысертскит, в виде обломков пластинчатых кристаллов с серебристым оттенком.

19. Анализ Б. Г. Карпова и М. М. Стукаловой. Урянхайский край в Сибири. Рч. Серлих. Рутениевый невянскит, в виде нерастворимого остатка шлифовой платины.

с) Анализы сперрилита из Сибирских месторождений

N	Pt	As	Fe	Cu	SiO ₂	Сумма
1	54,25	41,85	0,67	—	2,50	99,27
2	56,2	40,6	0,4	0,7	1,3	99,2

1. Анализ Б. Г. Карпова. Зейский район. Срч. Хугдер (приток р. Дабукита, впадающего в Вилюю).

2. Тымтонский район. С Николаевского прииска по ключу Джегдали.

д) Анализы иридиевого и платинистого золота с Закавказья

N	Au	Ag	Pd	Pt	Ir	Fe	Cu	Сумма	Уд. вес
1	62,1	2,1	следы	3,8	30,4	0,6	0,03	99,03	21,69
2	84,6	2,9	—	10,5	10,5	0,2	0,9	99,1	19,53

1. Анализ Г. П. Черника. Батумская обл., система р. Чороха. Иридиевое золото.

2. Тоже. Платинистое золото.

V. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ¹

Главнейшими ценными свойствами платиновых металлов являются: трудноплавкость, электропроводность и химическая стойкость. Эти свойства должны были бы обусловить широкое их использование в химической, электротехнической и других отраслях промышленности. Однако, как ни странно, в экономических условиях капиталистических стран более двух третей всей добываемой платины до самого последнего времени расходовалось в ювелирном и зубоврачебном деле.

Наиболее крупными потребителями платины являются США и Великобритания. США около одной трети всей добываемой платиновой продукции расходовали в зубоврачебном деле, главным образом на изготовление штифтов и крампонов, служащих для прикрепления фарфоровых зубов к искусственным челюстям. В ювелирном деле платина употребляется преимущественно для оправы бриллиантов, аквамаринов, топазов и других драгоценных камней, а также для изготовления перстней, серег, подвесок с цепочками, брошек с бриллиантами и жемчугами, шейных дамских цепочек и пр.

Лишь в последнее время все больше и больше возрастает спрос на платиновые изделия со стороны научной, промышленной и военной техники: для химических производств, лабораторных принадлежностей, электрических устройств и машин различных назначений, печей пирометров и т. д., для

¹ Эта глава составлена по Н. К. Висоцкому «Платина и районы ее добычи», ч. 1. Там же приведена и вся литература, касающаяся этого вопроса.

авиации, автомобильного и миного дела, для частей радиотелефонов, телеграфа и т. д. С прогрессом техники применение платины естественно должно возрастать, особенно в тех областях, где необходимо иметь материал, противостоящий действию электричества, сильнейших химических реагентов и в то же время выдерживающий высокие температуры.

Абсолютно чистая платина в технике не применяется в силу ее мягкости. Технически чистая платина, применяемая в промышленности, всегда содержит 0,1—0,2% иридия. Но кроме нее употребляются самые разнообразные сплавы с иридием, золотом, родием, медью, серебром, никелем, оловом, цинком, свинцом, висмутом, сталью и др. Примесь иридия увеличивает твердость сплава. Примесь остальных металлов играет различную роль при применении в специфических областях промышленности.

В области изготовления лабораторной посуды платина уже давно идет, главным образом, на производство тиглей, чашек, муфелей, реторт, ванночек, лодочек, ложек, конусов для фильтрования, пипеток, наконечников, спиралей, трубок, пинцетов, пластинок, жести, проволоки, для анодов и катодов при электролитических анализах и пр.

Крупнейшими потребителями лабораторной посуды (котлов, реторт, трубок и пр.) являются сернокислотные заводы. В последнее время, когда цены на платину превзошли цены золота, для этих целей начали применять сплавы с золотом (1 часть платины с 9 частями золота или 2 части платины с 3 частями золота). При контактном способе производства серной кислоты платина применяется в виде платинированного асбеста, являющегося сильно действующей контактной массой. Каждый контактный аппарат при этом содержит 10—15 кг платины. На контактном действии платины основан целый ряд применений: так называемое «Деберейнерово огниво», автоматические газозажигатели, изготовление так называемых термокауторов, применяемых в хирургии, в живописи на дереве и на кости для целей выжигания, затем для получения уксуса из древесного спирта, получения азотной кислоты и др.

Большой спрос в последнее время предъявляется к платине и со стороны электрохимии и электротехники. Здесь она применяется для изготовления гальванических элементов, электродов для получения различных электролитических продуктов: поташа, соды; хлоратов, перхлоратов, персульфатов и т. д.; для изготовления анодов, спиралей, в устройстве нагревательных печей сопротивления и т. д. В гальванопластике платина и другие металлы платиновой группы применяются для покрытия тонким слоем платины металлических поверхностей, например, коромысел весов и многих других инструментов. В электрических машинах платина употребляется для проводников и контактов, например, в аппаратах для измерения электричества; в беспроволочном телеграфе и телефоне в виде катализатора в индукционных аппаратах и т. д. В военном деле она идет для изготовления контактов: в мином деле в виде тонких проволок определенного сопротивления, служащих для производства детонации при взрыве мин; в авиации

онном и автомобильном деле — в магнето моторов внутреннего сгорания, для запальных стержней и др.

В медицине в последнее время употребляется иридиевая платина (с 10% иридия) для изготовления некоторых хирургических инструментов, в особенности полых иглолок к шприцам для подкожного впрыскивания и др.

Соли платины изготавливаются в сравнительно небольших количествах, причем больше готовится хлорная платина ($PtCl_4$), являющаяся реагентом при химических анализах. Хлорная платина идет также для получения платинохлороводородной кислоты, хлороплатинатов калия, натрия, кальция, бария и аммония, затем в фотографии (например, для составления выразительных ванн) и др. Платиносиноеродистый барий применяется для изготовления фосфоресцирующих экранов, в рентгенологии и пр. Наконец, соли платины идут для изготовления особых красок в живописи по фарфору.

И р и д и й является вторым металлом из платиновой группы по обширности применения. Наиболее ценным свойством его является высокая твердость и способность сильно увеличивать твердость сплавов даже при незначительном его прибавлении. В виде фосфооридия (с 7,43% фосфора), становящегося при белом калении жидким, он применяется для изготовления кончиков золотых перьев, для призм в точных химических весах, в хирургии для кончиков золотых игл, служащих для зашивания ран, для острия ювелирных сверл, для контактов в телеграфных приборах, для гальванического иридия и т. д.

О с м и с т ы й и р и д и й находит применение в природном виде для кончиков вечных перьев, для острия хирургических инструментов, для наконечников инструментов, применяемых при вытаскивании предметов из слоновой кости, и т. д. Для вечных перьев применяется также искусственный сплав: $Os=83\%$, $Ir=12\%$, $Ru=2,0\%$ и $Pt=3,0\%$. Спрос на осмистый иридий возрос особенно в последнее время, когда нашли применение отдельно для иридия и осмия¹.

Р о д и й благодаря высокой точке плавления применяется в 10-процентном сплаве с платиной для изготовления пирометров, а в 30-процентном сплаве для изготовления химических сосудов, противостоящих даже действию царской водки. Родиевая чернь применяется для окраски фарфора в черный цвет, а также для каталитических реакций.

П а л л а д и й в виде сплавов с золотом применяется в виде тонких проволок для катализа гремучего газа, для катодов, для сопротивлений и пр. Чистый палладий применяется для палладинирования металлических шкал с тонкими градусными делениями. Из палладия изготавливается, кроме того, палладиевый асбест, прививальные ланцеты и пр. В виде окиси палладий применяется для рисования на эмали (палладиевая чернь).

Р у т е н и й в металлическом виде не применяется вследствие его хрупкости и окисляемости. В виде рутениевого пурпура применяется в кера-

¹ О применении осмистого иридия см.: P. L e n n o n. The Min. Mag. 6—1927; The Mining Journ., Sept., 1929.

мике в качестве краски. В виде сплава с иридием применяется в термоэлементах.

О с м и й в металлическом виде и в сплаве с вольфрамом применяется для изготовления сеток в аэровских светокалильных лампочках («Осрам»). Осмиевые препараты применяются в медицине: для впрыскивания при эпителических припадках, для осаждения бактерий из воды и других жидкостей. Употребляется он также в керамике, благодаря тому, что сообщает фарфору белую окраску, похожую на серебро.

В виду ограниченной добычи платиновых металлов, с одной стороны, и благодаря увеличивающемуся спросу на них для научно-технических целей, с другой, — научно-исследовательская мысль все время работает над возможностями замены платиновых металлов сплавами других элементов, заменяющими по свойствам платиновые сплавы. Однако, все же во многих отраслях науки и техники платиновые металлы пока остаются незаменимыми.

До мировой войны до 80% всей добычи платиновых металлов приходилось на Урал, причем платина добывалась исключительно из россыпей. В настоящее время в мировом платиновом рынке серьезную роль начала играть южно-африканская платина из Трансваальских коренных месторождений.

Запасы россыпных месторождений на Урале еще велики, но постепенно истощаются. Вопрос о коренных месторождениях приобретает актуальное значение. В последние годы (с 1923 г.) ведутся систематические исследования коренных месторождений на Урале.

VI. СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ СССР С ИНОСТРАННЫМИ

Как мы видели из общего обзора месторождений нашего Союза, главные из них могут быть сведены к трем типам:

- 1) Уральский тип в ультраосновных глубинных породах.
- 2) Норильский тип в пирротиновых диабазах.
- 3) Россыпные месторождения.

Уральский тип месторождений из других стран встречается в Канаде (гора Оливин), Абиссинии (Уаллаго в верховьях Белого Нила), Новой Зеландии (г. Дун), Экваториальной Колумбии и Южной Африке (Бушвельдский комплекс). Во всех этих районах коренные месторождения Уральского типа до последнего времени не были открыты, за исключением месторождений в горнолитовом дуните Бушвельдского комплекса изверженных пород. Последние наиболее подробно описаны Вагнером. Сравнивая эти месторождения с нашими, мы можем отметить ряд сходств и различий.

Бушвельдский комплекс представляет собой огромный лакколит, состоящий главным образом из норитовых пород, хорошо раздифференцированных в нижней своей части. В верхней части этого лакколита имеем граниты.

Дунитовые массы залегают среди норитов в нижней части их в виде столбообразных тел, прорывающих вкrest дифференциаты норитовой части. Гортонолит (оливин, богатый железом), с которым тесно связано присутствие платины, является более поздним образованием.

Уральский комплекс габброперидотитовых пород, как было указано, представляется в виде огромного лакколитообразного тела с падением к востоку и состоит из непрерывно сменяющихся пород: ультраосновных (дунита, перидотита, пироксенита) габбро, диорита и гранита. Дуниты здесь залегают в виде огромных куполообразных тел по всей вероятности в низах лакколитового тела и представляют наиболее раннее по возрасту формирование.

В Бушвельдском комплексе платина чуть ли не в главной своей массе образовала концентрации в норитовой зоне, в Уральских месторождениях — в ультраосновных породах. Как в том, так и в другом случае платина, связанная с ультраосновными породами, концентрируется в остаточном расплаве в ассоциации с хромшпинелидами. Минералогически, однако, эти месторождения несколько разнятся друг от друга. На Урале мы не имеем наличия более легкоплавкого гортонолита, а также флогопита, роговой обманки, повышенного содержания титана, которые свойственны Южно-Африканским месторождениям. Что касается состава самородной платины и ассоциации платиновых минералов, то существенных различий в этом отношении не находим.

Но, несмотря на указанные различия, общий ход дифференциации магмы и концентрация платиновых элементов в обоих типах в основном довольно близки между собой.

Норильский тип месторождений можно сравнивать с седберийским и трансваальским (Бушвельдский комплекс) типами. Седберийские и близкие к ним Норвежские месторождения бедны платиновыми металлами, но имеют большие запасы никеле- и меденосных колчеданных руд. Трансваальские месторождения хотя геологически и сходны с Седберийскими, но их руды, наоборот, богаты платиновыми металлами.

Норильские месторождения по геологическим условиям являются отличными как от Седберийских, так и от Трансваальских. Геологически они очень близки к другому Южно-Африканскому месторождению, а именно Инсизва, связанному долеритами, но, однако, бедному платиновыми металлами.

Особенностью Норильских месторождений, отличающей их от остальных месторождений, является значительное преобладание в колчеданных рудах меди над никелем, а также сравнительно значительное содержание кобальта. В минералогическом отношении норильские руды характеризуются большим количеством халькопирита и магнетита и меньшим пентландита и пирротина, тогда как в седберийских, трансваальских и в рудах Инсизвы наоборот.

Общие же черты генезиса всех этих типов месторождений безусловно одинаковы.

Россыпные месторождения самородной платины Урала могут быть сопоставлены с россыпными месторождениями Экваториальной Колумбии, Канады (рч. Тюлямин) и др. Россыпи с преобладанием осмистого иридия могли бы быть сопоставлены с россыпями остр. Тасмании, а также Папуа. Некоторые россыпи золота с примесью осмистого иридия Среднего и Южного Урала, а также некоторых районов Сибири (Усинский, Урянхайский край) можно сравнивать с Калифорнийскими, Орегонскими и другими в США. Несколько особняком, может быть, стоят Виллойские россыпи самородной платины (и отчасти золота), связанные с Сибирскими трашсами.

В геологическом строении всех этих россыпей имеется много общего. Различие лишь можно усмотреть частично в минералогическом составе различных россыпей и, главным образом, в содержании платиновых металлов в россыпях. Уральские россыпи в свое время, да и сейчас, являются несравненно более богатыми по содержанию в них металлов платиновой группы, чем где-либо на земном шаре.

УКАЗАТЕЛИ ГЛАВНЕЙШЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО МИНЕРАЛАМ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

1. Указатель авторов¹

Adams H. A.

27. A Note on a new Palladium mineral from Portgietersrust Platinum Field. Journ. Chem. Metal. Min. So. South. Afr., 1927.

Aminow G. und Phragmen G.

21. Zeitschr. f. Kryst., 56, 1921, 510.

Анализы платины

15. Отчет о состоянии и деятельности Геол. Ком. в 1915 г. Изв. Геол. Ком., т. XXXV, № 1; т. XXXVI, № 1; т. XXXVIII, № 1; т. XLIII, № 2, Л.

Анерт Э.

17. Платина. Поверхность и Недра. Петроград, 1917, т. II, № 4, 157—162.

Bannister F. A.

32. Determination of minerals in platinum concentrates from the Transvaal by X-rays methods. Min. Mag., 1932, 138, XXIII.

Барбот де Марни Е. Н.

03. Уральская платинопромышленность. Изв. Общ. Гор. Инж., 4, СПБ. 1903, 29—42.

Бекк Р.

07. Ueber d. Struktur d. uralischen Platins. Berichte d. phys. math. Klasse d. Sächs., 1907.

Бетехтин А. Г.

30. О некоторых особенностях уральских коренных платиновых руд. Горн. Журн., 1, 1930.

32. О платиноносности Гокчинских перидотитовых массивов. Журн. Цветные металлы, 3, 1932.

33. К изучению хромовых месторождений. Зап. Лен. Горн. Ин-та, 1933, т. VIII. Бетехтин А. Г., см. Заварицкий, А. Н.

Bibliography.

19. Of the metals of the platinum group (1748—1917). Bull. U. S. Geological Survey, 1919.

¹ Цифры, показанные жирным шрифтом под именами авторов — годы.

Б о б и н. Е. С.

30. Геологические исследования 1927 г. в бассейне среднего течения р. Вилюя. Изв. Г. Г. Г. У., т. XLIX, 2, 1930, М. — Л., 25—49.

В r e i g a u r t.

33. Сообщ. новейш. сведений о некоторых русских минералах. Горн. Журн. СПб, 1833, IV, 297.

Б р у н о в с к и й Б. К., см. З в я г и н ц е в, О. Е.

W a g n e r P. A.

26. The preliminary Report on the platinum deposits in the South. Eastern part of the Rustenberg district Transvaal. Pretoria, 1926.

32. The platinum deposits and Mines of South. Africa. 1929.

W a g n e r P. A. and T r e v o r T. G.

23. Platinum in the Waterberg district. A description of the recently discovered Transvaal deposits. S. African. Journal of industries, Vol. VI, 12, 1923.

Русский перевод Фусса. Цветметиздат, 1932.

В а р в и н с к и й.

26. Исследование платины, открытой в России г. Ложье. Горн. Журн. 9, СПб, 1826, 29—37.

W ö h l e r.

66. Ueber neues Mineral von Borneo. Göttingen Nachrichten, 1866, 155.

В е р н а д с к и й В. И.

09. Опыт описательной минералогии. Т. 1, вып. 1 и 2. Самородные элементы. Изд. Ак. Наук. СПб. 1908—1909. Стр. 156; 204—264.

16. Срочные задачи изучения руд редких металлов платиновой группы. СПб, 1916, 88—97.

В ы с о ц к и й Н. К.

03. Краткий предварительный очерк месторождения платины по системам рек Иса, Выи, Туры и Нясьмы на Урале, СПб, 1903.

05. Детальные геологические исследования месторождения платины на Урале в пределах Н.-Тагильского Горного округа. Изв. Геол. Ком, т. 24, 1, СПб. 1905, 39—42.

06. Детальные Геологические исследования платину содержащих районов Урала. Изв. Геол. Ком. за 1905 г., т. XXV, СПб, 1906, 36—37.

13. Месторождения платины Исовского и Н.-Тагильского р-нов на Урале. Труды Геол. Ком., нов. серия. Вып. 62, 1913.

16. Исследования золотоносности восточного склона Южн. Урала. Изв. Геол. Ком. за 1915 г., т. XXXV, 1, СПб. 1916, 37—41.

17. Детальная геологическая съемка р-на платиновых россыпей Баранчинской и Кувшинской долин, Гороблагодатского Горн. округа. Изв. Геол. Ком. за 1916 г., т. XXXVI, 1, СПб, 1917, 26—29.

22. Геологический обзор р-нов добычи россыпного золота и платины на Урале в связи с вопросом о постановке в них дражных работ. Техн.-экон. сборн. «Урал», вып. 3, Екб., 1922, 10—78.

23. О коренных месторождениях платины на Урале и в Сибири. Изв. Геол. Ком., т. XLII, 1, СПб 1923, 15—21.

25. Специальные исследования с целью изучения месторождений платины и золота. Изв. Геол. Ком. за 1920 г., т. XL, 7, Л., 1925.

27. Платина в 1925/26 гг. Годовой обзор минеральных ресурсов СССР. Геол. Ком., Л, 1927, 523—558.

31. Полезные ископаемые. Геол. карта Урала. Объяснительная записка. Инст. Геол. Карты. М. — Л. 1931, 139—184.

33. Платина и районы ее добычи. Части 1, 2, 3, 4 и 5. Изд. К. Е. П. С. при Акад. Наук., Л. 1923—1933.

- Harbort, E.
25. Ueber die Entwicklung eines neuen Platinbergbaues bei Lydenburg in Transvaal. Die Metalbörse, 74, Berlin, 1925.
- Гендрихов И.
00. Историко-статистический очерк Уральской платиновой промышленности. Вестн. золотопром. и горн. дела, Т. IX, Томск, 1900.
- Герасимов А. П.
02. Геологические исследования в Ленском Горном округе в 1902 г. Геол. Иссл. золот. обл. Сиб. Ленский золот. р-н, Вып. III, СПб., 1—39.
- Hintze.
06. Handbuch für Mineralogie, Bd. I, 1906.
- Гойер Е. Г.
22. Очерк развития дражного дела на Урале. Техн.-экон. сборн. «Урал», вып. 3, Екб., 1922, 3—9.
- Гофман
44. О золотых промыслах Восточной Сибири. Горн. Журн., IV, 245, 1844.
- Григорьев А. Т.
29. О сплавах палладия с сурьмой. Изв. И-та по изуч. платины и др. благ. мет. Вып. 7, 1929.
- Grech W. F.
Synopsis of Information covering the Platinum and related Minerals in Canada.
- Hussak E.
04. Ueber das Vorkommen von Palladium und Platin im Brasilien. Sitzungsberichte d. Wien. Akad., CXIII, 1904, 459.
- Doelter, C.
26. Handbuch der Mineralchemie. Dresden-Leipzig, Bd. IV, Abt. 1, 1926.
- Доменнов К. А.
33. Опыты обработки платиновых руд. Цветмет. изд. М. — Л. 1933.
- Драверт П. Л.
29. Платина в окрестностях курорта Боровое и о возможности ее нахождения в других р-нах Казакстана. Изв. Зап.-Сиб. Отд. Русск. Геогр. Общ., т. VI, Омск, 1929, 29—36.
- Duparc L.
11. Le Platine et les gîtes platinifères de l'Oural-Extr., des Archives des séances phys. et nat. t. XXXI, p.p. 80, Genève, 1911.
13. Платина и платиновые месторождения на Урале. Горн. Журн. Т. 1, 1—2, СПб., 1913, 40—73.
- 13a. Sur les sables noirs de Madagascar et leur prétendue richesse en platine. Archiv. d. sciences phys. et nat., т. XXXVII, Janvier, Genève, 1913, 37—46.
- 13b. Sur l'origine du Platine contenu dans les alluvions des certains affluents latéraux de la Koswa (Oural du Nord). Paris. 1913.
25. Les gîtes platinifères de l'Oural en relation avec ceux du Transvaal. Extr. du Bulletin Suisse de Minéralogie et Pétrographie, т. V, 1, 1925, 147—172.
28. Le Platine et les gîtes platinifères. Extr. de la Revue Universelle des Mines, Liège, 1928.
- Duparc L. et Molly E.
28. Des gisements platinifères du Birbir (Abyssinie). Т. VIII, 1, 1928, 240—257.
- Duparc L. et Tikonowitch M.
20. Le Platine et les gîtes platinifères de l'Oural et du Monde. Genève, 1920.
- Engelhardt V. M.
28. Die Lagerstätte des Goldes und Platin im Ural Gebirge. Riga, 1928.

Еремеев П.

68. Кристаллы Уральского осмистого иридия и иридистого осмия. Горн. Журн. ч. 1, СПб., 1868, 245—251.

79. О некоторых новых формах в кристаллах платины и иридия. Зап. Мин. Общ., XIV, 1879.

98. О нахождении кристаллов алмаза и платиновых металлов в золотоносных приисках Северной тайги в Енисейской губ. Изв. Акад. Наук, V сер., т. IX, 3, СПб., 1898, 13—17.

Жемчужный С. Ф.

20. Исследование структуры самородной платины. Матер. К. Е. П. С., 38, Изд. Акад. Наук, 1920.

Заварицкий А. Н.

99. Отчет об исследованиях в платиновом р-не Н.-Тагильского округа в 1908 г. Зап. Горн. Инст., II, вып. 3, СПб., 1909.

24. Задачи гравиметрического исследования в Н.-Тагильском р-не на Урале. Горн. Журн., 9—10, М., 1924, 656—661.

25. Дунит Н.-Тагильского массива на Урале глубиной 500 м. Вестн. Геол. Ком., 1, Л. 1925, 25—32.

28. Коренные месторождения платины на Урале. Изд. Геол. Ком. Материалы по общей и прикладной геологии, вып. 108, 1928.

32. Перидотитовый массив Рай-Из. в Полярном Урале. Всес. Геол. Развед. Объед. Н. К. Т. П. СССР. М. — Л., 1932, стр. 221.

Заварицкий А. Н. и Бетехтин А. Г.

28. Одна из особенностей структуры коренной платины. Сообщен. о научно-техн. раб. в Республике, XXIII, 1928, 26.

Зайцев А. М.

98. Месторождения платины на Урале. Томск. изд. Платинопром. Т-ва Бурбонова с сыновьями, 1898.

Зверев, В. Н.

17. Изучение района на север от Вилюя, в области его левых притоков и по долине Вилюя от устья Ахтаранды до устья Ычетты. Изв. Геол. Ком., XXXVI, 1, П., 1917, 452—475.

25. Геологические исследования р-на долины Вилюя вниз от устья его левого притока Укугута и почти до г. Вилюйска. Изв. Геол. Ком., XLIV, 2, Л., 1925.

25а. Условия золотоносности Вилюйского района. Изв. Геол. Ком., XXIV, 5, Л., 1925, 539—562.

Звягинцев О. Е.

31. Исследование некоторых образцов Уральского и Сибирского осмистого иридия. Изв. Инст. по изуч. платины и др. благ. металл. Акад. Наук СССР, вып. 8, Л., 1931, 260—261.

32. О формах нахождения платины и ее спутников в природе. Изв. Инст. по изуч. платины и др. благ. металл., вып. 10, 1932.

32а. Химическая экспедиция на Урал и Алтай. Вестн. Акад. Наук, Л., 1932, 35—40.

Звягинцев О. Е. и Бруновский Б. К.

32. Об осмистом иридии, II. Изв. Инст. по изуч. платины и др. благ. метал., вып. 7, Л., 1932, 31—48.

Иностранцев А.

98. Коренное месторождение платины на Урале. Труды СПб. Общ. Ест., XXI, вып. 2. Отд. геологии и минералогии, СПб., 1893.

95. Формы выделений платины в коренной породе Урала. Тр. СПб. Общ. Естеств., XXIII, 1895.

Карпинский А. П.

93. Сообщение об открытии месторождения платины на Урале. Зап. Акад. Наук, LXXI, СПб., 1893, 222—223.

26. О вероятном происхождении коренных месторождений платины Уральского типа. Изв. Акад. Наук, XX, 1926.

32. О некоторых проблематических геологических процессах и об ископаемых Урала. Акад. Наук, 1, Л., 1932.

Каттерфельд Г. З.

50. О платине в Уральском серном колчедане. Записки УОЛЕ, XXV, Ектб., 1905, 6—7.

Koifmann I.

Sur les alliages d'argent et de platine et sur l'analyse des gîtes. Genève, XL, p. 509

Клаус К.

27. Химические исследования Уральской платиновой руды и металла рутения. Изв. Инст. по изуч. платины и др. благ. мет., вып. 5, 1927.

Kovaloff P.

26. The Platinum Market in the Near Future. S. A. Min. and Eng. Journ., 1926, 31-st July and 7-th August.

28. Primary Platinum Deposits. 1928.

Кокшаров Н.

66. Минералогические заметки. СПб., 1866, стр. 13.

Соопер В. А.

28. A new Platinum Mineral. Min. Mag., 39, 3, 1928.

Курнаков Н. С. и Немиллов В. А.

31. О сплавах платины с медью. Изв. И-та по изуч. платины и др. благ. металл., вып. 8, 1931.

Курнаков Н. С. и Немиллов, В. А.

31a. О сплавах платины с никелем. Изв. И-та по изуч. платины и др. благ. металл., вып. 8, 1931.

Laatsch W.

25. Die Edelmetalle. Eine Übersicht über ihre Gewinnung, Rückgewinnung und Scheidung. Berlin, 1925.

Lasault.

84. Ueber einen ausgezeichneten Kristall von dunklem Osmiridium aus dem Ural. Zeitschr. f. Kryst., 8, 1884, 303.

Левинсон-Лессинг Ф. Ю.

09. О новом месторождении платины на Урале в Синих Горах. Изв. Политехн. И-та, 11, 1909.

10. О самом южном месторождении платины на Урале на р. Омутной в Сысертском округе. СПб., 1910.

22. Платина. Богатства России. К. Е. П. С. при Акад. Наук, СПб. 1922, стр. 20.

Лейдье и Кеннесен.

26. Действие перекиси натрия на металлы платиновой группы. Изв. Плат. Ин-та, 4, 1926, 388.

Liversidge A. T.

97. Crystalline structure of platinum and gold nuggets and gold ingots. Proc. Chem. Soc., 13, 1897.

Линдгрэн В.

32. Месторождения золота и платины. Перев. с англ. под ред. горн. инж. Смолина А. П. Цветметиздат, М. — Л., 1932.

- Lipovski M.
 26. The Transvaal Platinum Deposits. Min. and Eng. Journ., 13-th November, 1926.
- Любарский В.
 28. Об уральской платине в породе. Горн. журн., 8, СПб., 1828.
28. О Тагильских платиносодержащих россыпях. Горн. журн., 11, СПб, 1828, 125—127.
- Lumb A. D.
 25. The Platinum Metals. Inst. Monograph. 1920, London, 1925.
- Машковцев С. Ф.
 33. Материалы к геологии Восточного склона Сев. Урала. Тр. Всес. геол.-разв. объедин., вып. 254, Л. — М., 1933, стр. 66.
- Мельников, М. П.
 93. Иридий. Горн. Журн., I, 1, 1893, 107—137.
- Меренский Н.
 25. Neue Mitteilungen über die Platinvorkommen in basischen Eruptivgesteinen, Noriten, Pyroxeniten, Duniten und Hortonolit-Duniten Transvaals. Metall und Erz, XIII (N. F. XIII), 1925.
26. Die neuen Deckten Platinfelder im Mittleren Transvaal und ihre wirtschaftliche Bedeutung. Bd. 78, 1926, Abh. № 2.
- Молдаваницев Е. П.
 26. Геологические исследования Денежкина Камня в Северном Урале в 1923 г. Изв. Геол. Ком., XLIII, 9, Л., 1926.
- 26a. О присутствии платины в диабазах и пироксеновых порфиритах Сев. Урала. Вестн. Геол. Ком., 5, Л. 1926.
27. Геологические исследования в р-не Денежкина Камня, дер. Бурмантово и басс. р. Лазовье. Отч. Геол. Ком., Л., 1927.
- 27a. Месторождение платины в р-не Бурмантово на Сев. Урале. Изв. Геол. Ком., XLV, 2, Л., 1927.
28. Геологический очерк р-на Чистоп и Хойяква в Сев. Урале. Изв. Геол. Ком., 27, XLVI, 7, Л., 1928.
- Molly E. см. Duranc L.
- Мухин.
 42. Химическое исследование разных родов хребтоуральской платины. Тр. Мин. О-ва, СПб., II, 1842.
- Мушкетов И. В.
 92. О месторождении самородной платины в Н.-Тагильском округе на Урале. Зап. Спб. Мин. о-ва, II сер., XXIX, СПб., 1892, 229—230.
- Нахождение платины.
 28. Материалы по геологии и полезным ископаемым Дальнего Востока, 53, Владивосток, 1928.
- Немилов В. А.
 29. О сплавах платины с иридием. Изв. Инст. по изуч. платины и др. благ. мет., вып. 7, Л., 1929, 13—21.
- 29a. Твердость, микроструктура и температурный коэффициент электросопротивления сплавов платины с железом. Изв. Инст. по изуч. платины и др. благ. мет., вып. 7, Л., 1929, 1—13.
- Немилов В. А., см. Курнаков Н. С.
- Новая литература.
 22. Новая литература по платине. Горн. Журн., 1—2, 3—5, 6—9, 1922.
- Оводенко С. Д.
 13. Отчет о поездке на Чукотский полуостров и на устье р. Анадырь. Горн. Журн., II, 6, 221—245; III, 7, 1—22, СПб., 1913.

О н о в о м .

12. О новом месторождении платины в Глазовском у. Вятской губ. Золото и Платина, IX, 2, СПб., 1912.

О п ы т ы

16. Опыты по извлечению платины из дунитов. Уральский техник., 6—7, Ектб., 1916, 56—57.

О с м и с т ы й и р и д и й

12. Осмистый иридий на Урале. Золото и Платина, IX, 8, СПб., 1912, 227.

О с м и с т ы й и р и д и й

15. Новости и известия. Горн. и золотопром. изв., 13—14, Томск, 1915.

П а д а л к а Г. Л.

25. Геологические исследования в р-не 2-й Вагранской дачи на Сев. Урале. Изв. Геол. Ком., XLIV, 2, Л., 1925, стр. 4.

26. Геологические исследования во 2-й Вагранской даче на Сев. Урале в 1924. Изв. Геол. Ком., XLV, 2, Л., 1926.

П а д у р о в а О. Г.

30. Кристаллы сперрилита из Тымптонского и Зейского золотоносных р-нов. Зап. Мин. о-ва, LIX, 1930.

P a l l a d i u m .

26. Palladium of Prince of Wales Island. Eng. Min. Journ., Pr. New-York, vol. 121, 8, 1926.

P a s s a c e G.

31. Relations des gîtes primaires platinifères avec les mas et relations des gîtes alluvionnaires avec les gîtes primaires. Paris—Liège, t. V, 10, 1931, 269—274.

П а у т о в П.

99. Платина. Вестн. золотопр. и горн. дела вообще, №№ 21, 22, 23 и 24, 1898; 2—1899; 4—1899.

П о к о р с к и й - Ж о р а в к о с м. Ш а п о р и н с к и й П. А.

П о л е в о й П.

24. Платина в золотых россыпях Анадырского края Камчатской губ. Экон. журн. Дальнего Востока, 2, Чита, 1924.

П о т р е б л е н и е п л а т и н ы

25. Потребление платины и платиновых металлов в США с 1913 по 1920. Вестн. Инжен., 9, М., 1925.

Р о ж к о в Б. Н.

33. Материалы по металлоносности сибирских трапнов. Тр. Вост. Сиб. геол. разв. треста, вып. 3, 1933.

S t - C l a i r e - D e v i l l e

59. Du platine et des métaux qui l'accompagnent. Annales de chim. et phys., LVI, 1859.

С е р д ю ч е н к о Д. П.

32. Редкие и благородные металлы на Сев. Кавказе и пути изыскания их новых месторождений. Сев. Кавказ—мощная минер.-сырьевая база СССР. Сб. статей Ростов на/Дону, 1932.

S m i t h E. A.

The Platinum Metals. Pitman's Common Commodities and Industries, London, XII, 123.

S p e n s e r L.

26. Sperrylite Crystals from the Transvaal. Mineral. Magazine, 1926.

T i k o n o w i t c h M. с м. D u r a n c, L.

Т о к а р е в И. Ф.

22. Месторождение платины и золота среди отложений артинского яруса по зап. склону Урала. Ектб. Уралплатина, 1922.

Trevor T. G. см. Wagner P. A.

Trotzig P.

27. Ueber Aufbereitungsmöglichkeiten südafrikanischen Platinерze und eine für den Betrieb anwendbare Methode. Freiberg, 1927.

Vogt J.

27. Geology of the Platinum Metals. Economic Geology, XXII, 4, June-July, 1927, 321—355.

Чечотт Г. О.

32. Определение запасов по данным опробования. Цветметиздат. М. — Л., 1932.

Шапоринский П. А., Покорский-Жоравко и Шершевский М.
Золотые россыпи Кахаберской долины в Батумском округе.

Шершевский М. см. Шапоринский П. А.

Schneiderhöhn H.

30. Lehrbuch d. Erzmikroskopie. Berlin, 1930.

Spring R., Fritz W.

05. 7. Einige Beobachtungen in den Platinwaschereien von Nischnji Tagil. II. Die nutzbaren Lagerstätten in Gebiete der mittleren Sibirischen Eisenbahnlinie. Berlin, 1905.

2. Указатель месторождений платиновых минералов в СССР

Урал

Коренные месторождения дунитовых массивов:

Бетехтин **30, 32**; Высоцкий **13, 23, 33**; Дюпарк **20**; Заварицкий **09, 28**; Иностранцев **93**; Молдаванцев **26**; Карпинский **93, 26**;

Россыпные месторождения:

Высоцкий **03, 05, 06, 13, 17, 22, 33**; Дюпарк **11, 13, 20**; Зайцев **98**; Левинсон-Лессинг **09, 10**; Молдаванцев **26, 28**; Падалка **25, 26**. Токарев **22**.

Кавказ.

Бетехтин **32**; Высоцкий **33**; Сердюченко **32**.

Средняя Азия.

Высоцкий **33**.

Сибирь.

Бобин **30**; Высоцкий **33**; Герасимов **02**; Драверт **29**; Зверев **17, 25, 25a**; Нахождение платины **28**; Оводежко **13**; Осмистый иридий **15**; Полевой **24**; Рожков **33**.

Цена 7 руб.

2438