

Якубович О. В., Симонов М. А., Белоконова Е. Л., Егоров-Тисменко Ю. К., Белов Н. В. (1976). Кристаллическая структура Са, Mg-диортотрибората (пиробората) курчатовита  $\text{CaMgV}_2\text{O}_6$ . ДАН СССР, т. 230, № 4.  
Якубович О. В., Симонов М. А., Белов Н. В. (1978). Кристаллическая структура синтетического Mn-курчатовита  $\text{CaMnV}_2\text{O}_6$ . ДАН СССР, т. 238, № 1.

Всесоюзный научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС),  
Институт геологии, геохимии, петрографии и минералогии рудных месторождений (ИГЕМ)  
АН СССР, Москва.

УДК 549.2

Д. члены Н. С. РУДАШЕВСКИЙ, А. Г. МОЧАЛОВ, Ю. П. МЕНЬШИКОВ,  
Н. И. ШУМСКАЯ

### ФЕРРОНИКЕЛЬПЛАТИНА $\text{Pt}_2\text{FeNi}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ ВИД<sup>1</sup>

В районе развития ультрабазитов офиолитового пояса Корякско-Камчатской складчатой области на Северо-Востоке СССР выявлен новый тип минерализации платиновых металлов (Мочалов, Рудашевский, 1982). Среди платиноидов этой минерализации установлен новый упорядоченный твердый раствор Pt, Fe и Ni состава, отвечающего формуле  $\text{Pt}_2\text{FeNi}$ . Рентгенограмма его индицируется в предположении тетрагональной сингонии элементарной ячейки с параметрами  $a_0 = 3.871 \pm 0.004 \text{ \AA}$  и  $c_0 = 3.635 \pm 0.005 \text{ \AA}$ . Судя по рентгенограмме и физическим свойствам, новый минерал является никелевым аналогом туламинита  $\text{Pt}_2\text{FeCu}$ . Минерал назван по химическому составу ферроникельплатина (ferro-nickelplatinum).

**Условия нахождения.** Ультрабазиты рассматриваемого района представляют собой крупные пластинообразные тела длиной до 10 км. Внутреннее строение их характеризуется поперечной зональностью, обусловленной переходом от зоны высокомагнезиальных (железистость 9—11%) дунитов через породы полосчатого дунит-клинопироксенитового комплекса к зоне развития верлитов, лерцолитов, оливинитов и пироксенитов. Переходы между этими породами фациальные, реже пироксениты образуют секущие тела. В состав ультрабазитовых пластин входят эклогиты и ариезиты, образуя линзовидные тела, часто имеющие тектонические контакты; местами, однако, они связаны с ультрабазитами взаимными переходами.

Минерализация платиновых металлов установлена в четвертичном аллювии в пределах развития коренных выходов ультрабазитов и вмещающих их пород. Аллювий состоит из валунно-песчано-галечного материала. Грубообломочный материал средне и слабо окатан, слабо сортирован, представлен обломками коренных пород, слагающих склоны и плотик долин. Песок разнозернистый полимиктового состава.

Сростки минералов платиновых металлов в ассоциации с самородным золотом и самородной медью в виде единичных зерен входят в состав тяжелой фракции аллювиальных отложений. Тяжелую фракцию составляют в основном магнетит, пироксен, хромшпинелиды, ильменит, гема-

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 22 марта 1982 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 12 ноября 1982 г.

Химический состав минералов платиновых металлов, сопровождающих ферроникельплатину

| Анализ | Минерал                                  | Ir      | Os      | Ru      | Pt   | Rh      | Fe      | Ni   | Cu      | Co      | S    | As   | Сумма  |
|--------|--|---------|---------|---------|------|---------|---------|------|---------|---------|------|------|--------|
| 1      | Рутениридосмин I                         | 23.0    | 46.5    | 20.6    | 7.39 | 0.41    | 0.07    | 0.05 | Не обн. | Не обн. | —    | —    | 98.02  |
| 2      | Твердый раствор (Pt, Ru, Ir, Os)         | 23.7    | 20.0    | 48.3    | 37.9 | 1.49    | 0.17    | 0.03 | »       | »       | —    | —    | 101.59 |
| 3      | Твердый раствор (Ru, Ir, Pt, Os, Ni, Fe) | 22.3    | 21.2    | 48.9    | 29.1 | Не обн. | 3.38    | 4.64 | 0.11    | »       | —    | —    | 99.63  |
| 4      | То же                                    | 22.4    | 21.3    | 48.7    | 27.9 | »       | 3.52    | 4.88 | Не обн. | 0.08    | —    | —    | 98.78  |
| 5      | »  | 28.3    | 32.8    | 22.2    | 7.73 | 2.01    | 1.48    | 3.24 | »       | 0.03    | —    | —    | 97.79  |
| 6      | »  | 18.5    | 18.3    | 46.1    | 36.6 | Не обн. | 4.48    | 5.38 | 0.19    | 0.02    | —    | —    | 99.57  |
| 7      | »  | 19.2    | 19.3    | 43.2    | 38.4 | »       | 3.87    | 4.45 | Не обн. | 0.04    | —    | —    | 97.86  |
| 8      | Рутениридосмин II                        | 25.2    | 48.9    | 15.8    | 6.48 | 0.49    | 0.10    | 0.42 | »       | Не обн. | —    | —    | 97.09  |
| 9      | Лаурит                                   | 43.4    | 0.49    | 47.3    | 0.60 | Не обн. | Не обн. | 0.09 | »       | »       | 34.8 | 3.59 | 100.27 |
| 10     | Ирарсит                                  | 46.4    | Не обн. | 4.97    | 0.79 | 7.36    | »       | 0.03 | »       | »       | 14.6 | 25.1 | 99.25  |
| 11     | RhAs                                     | Не обн. | »       | 1.72    | 0.41 | 55.2    | »       | 0.26 | »       | »       | »    | 41.5 | 99.15  |
| 12     | RhNiAs                                   | 0.56    | »       | Не обн. | 0.50 | 43.5    | »       | 24.2 | »       | »       | »    | 30.6 | 99.36  |

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4 условия анализа: микронид MS-46 «Камака», 20 кВ, 20–30 нА, диаметр зонда 1–2 мкм; эталоны — чистые Ir, Os, Ru, Pt, Rh, Fe, Ni, Cu, Co и As, а также тролит (на S); аналитические линии  $L_{\alpha}$  (для Ir, Os, Ru, Pt и Rh) и  $K_{\alpha}$  (для Fe, Ni, Co, As и S); при определении концентрации Cu вносились поправка на влияние присутствующего в фазе Ir для Rh на присутствие Ru и для As — на Ir и Os; пересчет относительных интенсивностей на концентрации выполнен по оригинальной программе типа ZAF (для сульфидов) на ЭВМ М-222 и на ЭВМ РДР-11 по стандартной программе фирмы «Камака» (для фаз-металлов). Рутениридосмин I — крупный пластинчатый кристалл толщиной 0.3 мм, рутениридосмин II — мелкозернистый агрегат тонких пластинок.

тит и в меньшей мере оливин, цоизит, эпидот, гранаты (альмандин и пироп), корунд и циркон.

Зерна минералов платиновых металлов неокатанные и слабо окатанные, комковидной формы. Размер их 0.2—4.5 мм, преобладает фракция 0.5—1.5 мм. Визуально в зернах отчетливо различаются две фазы: пластинчатые кристаллы с сильным металлическим блеском (рутениридосмин) и выполняющий промежутки между ними минерал желтовато-серого цвета с металлическим матовым блеском — твердый раствор (Pt, Ru, Ir, Os). Края пластинок в зернах обычно угловатые и занозистые.

Исследование минералов-платиноидов проводилось в цементно-полированных шлифах. Первичная ассоциация в зернах-сростках минералов платиновых металлов на 90—95% сложена рутениридосмином (рутениридосмин I) и твердым раствором (Pt, Ru, Ir, Os), присутствующими в переменных количествах (30—70%). С этими минералами ассоциируют подчиненные количественно твердые растворы Pt, Fe, Cu и Ni, кубические

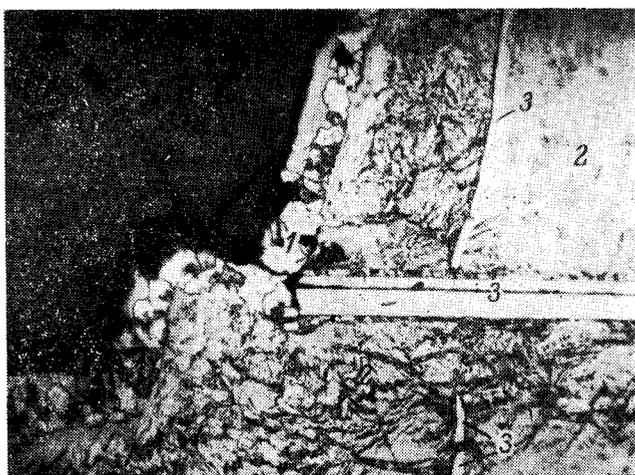


Рис. 1. Кайма зерен ферроникельплатины (1) по границе кристалла хромшпиннелида (темно-серое) и агрегата зерен твердого раствора Ru, Ir, Pt, Os, Ni и Fe (2).

3 — кристаллы рутениридосмина I. Полир. шлиф, увел. 190, протравлено горячей царской водкой.

и тетрагональные переменного химического состава: изоферроплатина, тетраферроплатина, ее никелистые и медистые разновидности, а также ферроникельплатина. Зерна минералов Pt, Fe, Cu и Ni обычно резко ксеноморфны, выполняющие промежутки между кристаллами рутениридосмина I и зернами твердого раствора (Pt, Ru, Ir, Os). К ним обычно приурочены включения сульфидов и арсенидов Ru, Os, Ir, Pt и Rh: лаурит, ирарсит, куперит, сперрилит, холлингвортит и неназванные арсениды Rh состава RhAs и RhNiAs. Кроме того, наблюдается также замещение в различной степени (вплоть до полных псевдоморфоз) с краев зерен-сростков платиноидов и по границам выделений ранних минералов в первую очередь (Pt, Ru, Ir, Os), иногда рутениридосмина I мелкозернистыми агрегатами твердого раствора Ru, Ir, Pt, Os, Fe, Ni и Cu переменного химического состава. Сростки минералов платиновых металлов нередко содержат включения хромшпиннелидов (кристаллы и их обломки размером 30—200 мкм) и оливина (изометричные округлой формы зерна, реже кристаллы размером 20—40 мкм).

Ферроникельплатина обнаружена в зерне-сростке платиновых минералов, в котором интенсивно проявлены процессы замещения. Реликтовая структура его сохраняется лишь в виде срастающихся крупных (толщиной 0.1—0.4 мм) пластинчатых кристаллов рутениридосмина I (табл. 1, ан. 1). Твердый раствор (Pt, Ru, Ir, Os) присутствует здесь лишь в виде

Таблица 2

Оптические свойства ферроникельплатины, туламинита и фазы  $Pt_2FeCu_{0.5}Ni_{0.5}$ 

| Длины волн, $\lambda$ , нм | Pt,FeNi ферроникельплатина, обр. Ш-1 | Туламинит (Sabri и др., 1973) |      | Pt,FeCu <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> (Sabri и др., 1977) | Длины волн, $\lambda$ , нм     | Pt,FeNi ферроникельплатина, обр. Ш-1 | Туламинит (Sabri и др., 1973) |      | Pt,FeCu <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> (Sabri и др., 1977) |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------|--|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------|--|
|                            | R', %                                | R, %                          | R, % | R  |                                | R', %                                | R, %                          | R, % | R  |
| 420                        | 56.5                                 |                               |      |  | 640                            | 60.9                                 |                               |      |  |
| 440                        | 56.4                                 |                               |      |  | 650                            | 61.2                                 | 64.9                          | 61.1 | 63.0   |
| 460                        | 56.8                                 |                               |      |  | 660                            | 61.4                                 |                               |      |  |
| 470                        | 57.0                                 | 65.3                          | 61.0 | 61.3   | 680                            | 62.0                                 |                               |      |  |
| 480                        | 57.4                                 |                               |      |  | 700                            | 62.8                                 |                               |      |  |
| 500                        | 58.2                                 |                               |      |  | 720                            | 63.4                                 |                               |      |  |
| 520                        | 58.7                                 |                               |      |  | 740                            | 64.0                                 |                               |      |  |
| 540                        | 59.0                                 |                               |      |  | Параметры цвета по источнику А |                                      |                               |      |  |
| 546                        | 59.1                                 | 66.5                          | 60.0 | 61.3   |                                |                                      |                               |      |  |
| 560                        | 59.3                                 |                               |      |  | Y                              | 59.6                                 |                               |      |  |
| 580                        | 59.7                                 |                               |      |  | x                              | 0.452                                |                               |      |  |
| 589                        | 60.0                                 | 65.5                          | 61.5 | 62.2   | y                              | 0.409                                |                               |      |  |
| 600                        | 60.2                                 |                               |      |  | $\lambda d$ , нм               | 581                                  |                               |      |  |
| 620                        | 60.5                                 |                               |      |  | Re, %                          | 6                                    |                               |      |  |

очень мелких (не более 10 мкм) угловатых реликтовых зерен (табл. 1, ан. 2), он почти нацело замещен твердым раствором Ru, Ir, Pt, Os, Ni и Fe (табл. 1, ан. 3—7), а также агрегатом мелких пластинок рутениридосмина II (табл. 1, ан. 8) и зерен ферроникельплатины. Ферроникельплатина развита с краев рассматриваемого зерна платиновых минералов, по границам включений хромпшинелидов и минералов-платиноидов (рис. 1), а также вдоль границ кристаллов рутениридосмина I. Мономинеральные участки новой фазы не превышают 0.15 мм. Ферроникельплатина содержит включения кристаллов и агрегатов зерен лаурита

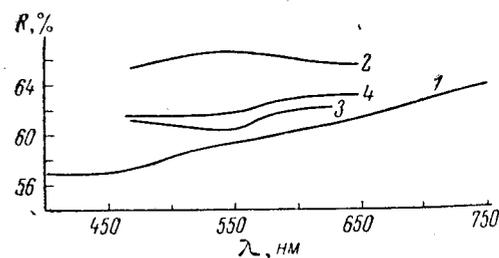


Рис. 2. Дисперсия отражения ферроникельплатины (1) и ее структурных аналогов (Sabri и др., 1973, 1977).

2 и 3 — различные зерна туламинита; 4 — фаза  $PtFeNi_{0.5}Cu_{0.5}$ .

(табл. 1, ан. 9), ирарсита (табл. 1, ан. 10), а также арсенидов Rh состава RhAs (табл. 1, ан. 11) и RhNiAs (табл. 1, ан. 12).

Ферроникельплатина интенсивно травится лишь горячей царской водкой: кратковременное травление выявляет зернистое строение агрегатов, далее происходит полное их затравливание (чернеет). Травление выявляет мелкозернистое строение агрегатов нового минерала, отдельные зерна имеют изометричную форму, размер их не превышает 10—20 мкм.

**Физические свойства.** Ферроникельплатина обладает ковкостью, хорошо полируется. Отдельные частички, извлеченные алмазной пирамидкой под микроскопом, имеют серебристо-белый цвет, металлический блеск. В полированных шлифах в отраженном свете новый минерал имеет розовато-кремовый цвет, который соответствует аномальной спектральной кривой дисперсии отражения (рис. 2, 1). Отражение высокое (табл. 2), двуотражение незаметно, анизотропия очень слабая. Величина отражения и форма кривой дисперсии отражения для нового минерала отличаются от таковых, приведенных Л. Кабри и соавторами (Sabri и др., 1973, 1977) для туламинита и фазы  $PtFeNi_{0.5}Cu_{0.5}$ , что, по-видимому, обу-

словлено различиями в химическом составе сравниваемых минералов (замена Cu на Ni в новой фазе).

Твердость ферроникельплатины средняя, варьирует в интервале 381—592 кгс/мм<sup>2</sup>,  $H_{cp}=481 \pm 109$  кгс/мм<sup>2</sup> (ПМТ-5 с автоматизированным идентором,  $P=50$  г,  $n=5$ ). Большие вариации значений твердости, видимо, объясняются мелкозернистым сложением агрегатов нового минерала. Ферроникельплатина обладает твердостью, близкой к твердости туламинита (420—456 кгс/мм<sup>2</sup>;  $H_{cp}=442$  кгс/мм<sup>2</sup>; Савги и др., 1973) и фазы Pt<sub>2</sub>FeNi<sub>0.5</sub>Cu<sub>0.5</sub> (498—553 кгс/мм<sup>2</sup>,  $H_{cp}=537$  кгс/мм<sup>2</sup>; Савги и др., 1977).

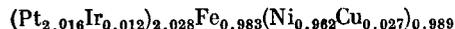
Химический состав. Различные агрегаты зерен ферроникельплатины в изученном образце однородны и относительно постоянны по химическому составу (рис. 3, табл. 3). Средний химический состав его здесь близок к теоретическому для Pt<sub>2</sub>FeNi (табл. 3). В различных образцах исследованной платиноидной минерализации установлен практически непрерывный ряд составов никельферроплатина—туламинит (табл. 4).

Таблица 3

Химический состав (мас. %) ферроникельплатины (обр. Ш-1)

| Анализ  | Pt       | Fe       | Ni       | Ir             | Cu             | Сумма  |
|---------|----------|----------|----------|----------------|----------------|--------|
| 1       | 77.6     | 10.5     | 11.7     | 0.60           | 0.36           | 100.76 |
| 2       | 76.3     | 10.6     | 11.2     | 0.32           | 0.33           | 98.75  |
| 3       | 77.3     | 10.4     | 11.0     | 0.44           | 0.33           | 99.47  |
| 4       | 75.7     | 11.0     | 11.1     | 0.27           | 0.34           | 98.41  |
| 5       | 76.4     | 11.0     | 10.2     | 0.51           | 0.34           | 98.45  |
| 6       | 76.6     | 10.5     | 10.9     | 0.69           | 0.36           | 99.05  |
| Среднее | 76.7±0.8 | 10.7±0.3 | 11.0±0.6 | 0.47±<br>±0.18 | 0.34±<br>±0.01 | 99.21  |
| 7       | 77.3     | 11.1     | 11.6     | —              | —              | 100.0  |

Ф о р м у л а



Примечание. 1—6 — анализы различных агрегатов нового минерала в одном полированном шлифе, ан. 7 — теоретический состав Pt<sub>2</sub>FeNi; формула соответствует среднему составу ферроникельплатины.

Таблица 4

Химический состав (мас. %) минералов ряда ферроникельплатина—туламинит

| Анализ | Образец | Минерал            | Pt   | Ir   | Ru      | Rh      | Pd      | Fe   | Ni   | Cu   | Co      | Сумма |
|--------|---------|--------------------|------|------|---------|---------|---------|------|------|------|---------|-------|
| 1      | Ш-1     | Ферроникельплатина | 76.7 | 0.47 | Не обн. | Не обн. | Не обн. | 10.7 | 11.0 | 0.34 | Не обн. | 99.21 |
| 2      | 1       | То же              | 74.8 | 1.85 | »       | 0.09    | »       | 10.5 | 8.80 | 2.86 | »       | 98.90 |
| 3      | 11      | »                  | 78.1 | 1.10 | 0.52    | 0.16    | 0.26    | 10.3 | 7.84 | 1.42 | »       | 99.70 |
| 4      | 3       | »                  | 77.3 | 1.62 | Не обн. | Не обн. | Не обн. | 10.4 | 7.80 | 2.22 | »       | 99.34 |
| 5      | М2      | »                  | 76.8 | 0.62 | 0.42    | 0.14    | »       | 10.5 | 5.50 | 4.28 | »       | 98.26 |
| 6      | 12      | Туламинит          | 76.2 | 1.33 | 0.28    | 0.26    | »       | 9.64 | 3.02 | 8.15 | 0.51    | 99.39 |

Ф о р м у л а

- 1 —  $(Pt_{2.016}Ir_{0.012})_{2.028}Fe_{0.983}(Ni_{0.962}Cu_{0.027})_{0.989}$   
 2 —  $(Pt_{1.974}Ir_{0.043}Rh_{0.005})_{2.027}Fe_{0.988}(Ni_{0.772}Cu_{0.232})_{1.004}$   
 3 —  $(Pt_{2.120}Ir_{0.030}Ru_{0.027}Pd_{0.013}Rh_{0.003})_{2.198}Fe_{0.977}(Ni_{0.707}Cu_{0.118})_{0.825}$   
 4 —  $(Pt_{2.089}Ir_{0.044})_{2.133}Fe_{0.988}(Ni_{0.700}Cu_{0.184})_{0.884}$   
 5 —  $(Pt_{2.095}Ru_{0.022}Ir_{0.017}Rh_{0.007})_{2.141}Fe_{1.001}(Ni_{0.499}Cu_{0.339})_{0.858}$   
 6 —  $(Pt_{2.046}Ir_{0.036}Ru_{0.015}Rh_{0.013})_{2.11}(Fe_{0.904}Co_{0.045})_{0.949}(Cu_{0.872}Ni_{0.269})_{0.941}$

Примечание. Ан. 1 — средний состав ферроникельплатины в табл. 3.

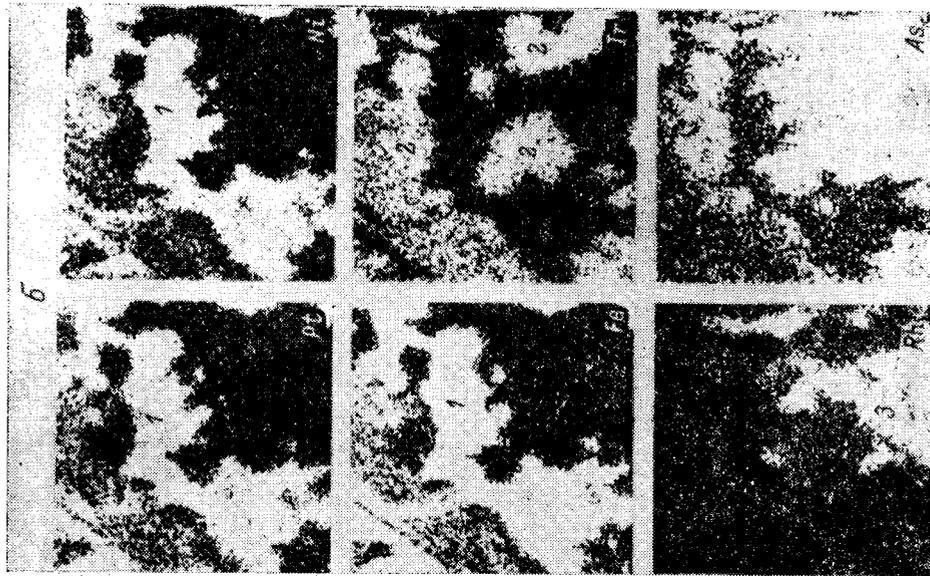


Рис. 3. Результаты качественного микрозондового анализа (MS-46 «Камека») агрегатов ферроникельсилаты.

а — концентрационные кривые по агрегатам нового минерала (1) с включениями фазы RhAs (2), б — карты сканирования в характеристических рентгеновских лучах агрегатов ферроникельсилаты (1) с включениями прарсита (2) и фазы RhAs (2). Участок 100 × 100 мкм.

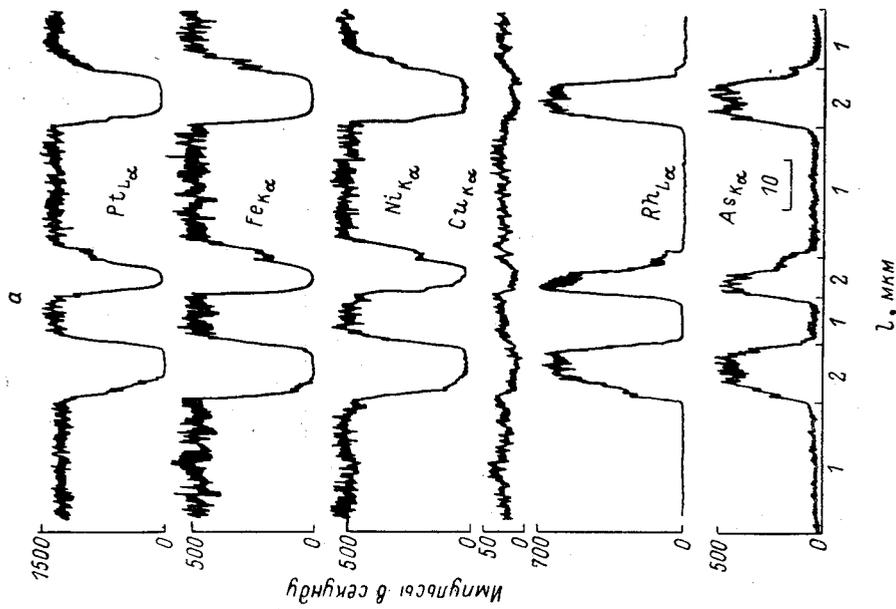


Таблица 5

## Результаты расчета дебаграммы ферроникельплатины и минералов-структурных аналогов

| Ферроникельплатина<br>Pt <sub>2</sub> FeNi, обр. III-1 |                  |                   | Тетраферроплатина<br>Pt <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> (Cabri, Feather,<br>1975) |      |                  | PtFe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.25</sub> Cu <sub>0.25</sub><br>(Cabri и др., 1977) |      |                  | Туламинит Pt <sub>2</sub> FeCu<br>(Cabri и др., 1973) |      |                  |     |
|--|------------------|-------------------|--|------|------------------|--|------|------------------|---|------|------------------|-----|
| I  | d <sub>изм</sub> | d <sub>расч</sub> | hkl  | I    | d <sub>изм</sub> | hkl  | I    | d <sub>изм</sub> | hkl   | I    | d <sub>изм</sub> | hkl |
| 1 ш.   | 3.66             | 3.64              | 001  | 1    | 3.69             | 001  | 6    | 3.621            | 001   | 3    | 3.569            | 001 |
| 1  | 2.752            | 2.737             | 110  | 2    | 2.721            | 110  | 4    | 2.741            | 010   | 4    | 2.753            | 110 |
| 10   | 2.192            | 2.187             | 111  | 10   | 2.191            | 111  | 10   | 2.188            | 011   | 10   | 2.179            | 111 |
| 5  | 1.935            | 1.936             | 020  | 7 ш. | 1.920            | 020  | 5    | 1.939            | 110   | 7    | 1.946            | 020 |
| 1 ш.   | 1.830            | 1.818             | 002  | 1    | 1.842            | 002  | 7    | 1.820            | 002   | 2    | 1.789            | 002 |
| 3  | 1.699            | 1.708             | 021  | 2    | 1.709            | 021  | 3 ш. | 1.707            | 111   | 4    | 1.709            | 021 |
| 1 ш.   | 1.509            | 1.514             | 112  | 2    | 1.530            | 112  | 4    | 1.516            | 012   | 3    | 1.500            | 112 |
| 1 ш.   | 1.371            | 1.369             | 220  | 1    | 1.366            | 220  | 5    | 1.370            | 020   | 4    | 1.375            | 220 |
| 4  | 1.324            | 1.325             | 022  | 6 ш. | 1.342            | 022  | 7    | 1.327            | 112   | 5    | 1.317            | 022 |
| 1 ш.   | 1.294            | 1.290             | 030  | 1 ш. | 1.280            | 030  | 3    | 1.282            | 021   | —    | —                | —   |
| 1 ш.   | 1.277            | 1.281             | 221  | —    | —                | —  | —    | —                | —   | 2    | 1.285            | 221 |
| 1 ш.   | 1.221            | 1.224             | 130  | 1 ш. | 1.230            | 130  | 2    | 1.224            | 120   | 1    | 1.230            | 130 |
| —  | —                | —                 | —  | 1    | 1.220            | 003  | 1/2  | 1.215            | 003   | —    | —                | —   |
| 3 ш.   | 1.157            | 1.156             | 013  | 5 ш. | 1.152            | 311  | 9    | 1.162            | 121   | 8    | 1.163            | 131 |
| —  | —                | —                 | —  | 1    | 1.124            | 113  | 7    | 1.110            | 013   | 8    | 1.093            | 113 |
| 2 ш.   | 1.092            | 1.093             | 222  | 3 ш. | 1.099            | 222  | 8    | 1.096            | 022   | —    | —                | —   |
| —  | —                | —                 | —  | 1    | 1.036            | 023  | 5 ш. | 1.029            | 113   | —    | —                | —   |
| —  | —                | —                 | —  | 1    | 1.017            | 132  | 6 ш. | 1.017            | 122   | 6    | 1.016            | 023 |
| —  | —                | —                 | —  | —    | —                | —  | —    | —                | —   | —    | —                | 132 |
| —  | —                | —                 | —  | —    | —                | —  | 3 ш. | 0.9707           | 220   | 3 ш. | 0.9730           | 040 |
| —  | —                | —                 | —  | —    | —                | —  | 1 ш. | 0.9383           | 221   | 2 ш. | 0.9433           | 140 |
| —  | —                | —                 | —  | —    | —                | —  | 1/2  | 0.9148           | 030   | 2 ш. | 0.9175           | 230 |
| —  | —                | —                 | —  | —    | —                | —  | 5 ш. | 0.9106           | 004   | —    | —                | 223 |

## Параметры элементарной ячейки (Å)

|                         |                         |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $a_0 = 3.871 \pm 0.004$ | $a_0 = 3.850 \pm 0.005$ | $a_0 = 2.741 \pm 0.003$ | $a_0 = 3.891 \pm 0.002$ |
| $c_0 = 3.635 \pm 0.005$ | $c_0 = 3.693 \pm 0.006$ | $c_0 = 3.644 \pm 0.003$ | $c_0 = 3.577 \pm 0.002$ |

Объем элементарной ячейки (Å)<sup>3</sup>

|        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 54.484 | 54.739 | 13.279 | 54.155 |
|--------|--------|--------|--------|

Рентгеновская плотность (г/см<sup>3</sup>)

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 15.6 | 15.8 | 15.8 | 15.6 |
|------|------|------|------|

Примечание. Условия съемки для ферроникельплатины: РКД-57.3, резиновый шарик,  $d = 0.2$  мм, Fe излучение, внешний стандарт NaCl; параметры элементарной ячейки уточнены методом МНК на ЭВМ М-6000 (кафедра кристаллографии ИГУ) по всем линиям рентгенограммы.

**Рентгенометрические данные.** Малый размер мономинеральных участков агрегатов нового минерала и их мелкозернистое сложение ограничивают рентгенометрические исследования ферроникельплатины методом порошка. Проба отбиралась из мономинеральных участков на микроскопе «Neophot» с помощью объектива с алмазной пирамидкой. Порошок собирался каплей резинового клея. Все отражения на рентгенограмме ферроникельплатины по положению и соотношениям интенсивностей хорошо сопоставляются с рентгенограммами природных тетрагональных упорядоченных сплавов платины, железа, меди и никеля: тетраферроплатины, туламинита и фазы Pt<sub>2</sub>FeCu<sub>0.5</sub>Ni<sub>0.5</sub> (табл. 5), а также искусственных фаз PtFe и Pt<sub>2</sub>FeCu (Cabri и др., 1973, 1975). Все линии дебаграммы нового минерала индицируются в предположении тетрагональной элементарной ячейки с  $a_0 = 3.871 \pm 0.004$  Å и  $c_0 = 3.635 \pm 0.005$  Å,  $Z=1$ . Слабая линия 1.277 (221) дебаграммы ферроникельплатины присутствует только на рентгенограмме туламинита (ее нет на порошковой рентгенограмме тетраферроплатины и ее разновидностей), в то время как

слабое отражение 1.294 (030) только на рентгенограммах тетраферроплатины и ее искусственного аналога (Cabri, Feather, 1975). Дебаеграмма ферроникельплатины может быть проиндцирована и в предположении меньшей элементарной ячейки:  $a_0 = 2.74 \pm 0.01 \text{ \AA}$  и  $c_0 = 3.64 \pm 0.01 \text{ \AA}$  как фаза  $\text{Pt}_2\text{FeCu}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$ , для которой были выполнены монокристалльные исследования (Cabri и др., 1977). В этом случае не индцируется слабое отражение 1.294. Возможно, что оно обусловлено малой примесью ирарсита в исследуемой пробе ферроникельплатины (Бегизов и др., 1976).

На рис. 4 представлены известные составы упорядоченных тетрагональных

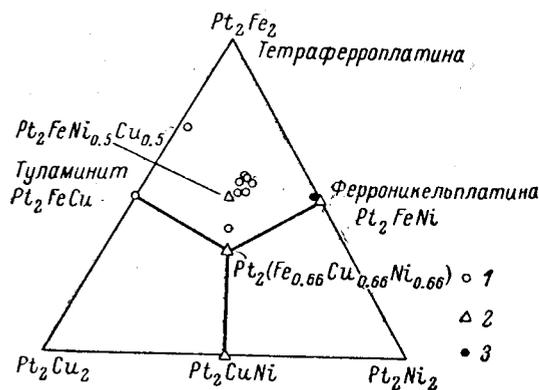


Рис. 4. Диаграмма составов (ат.%) упорядоченных тетрагональных сплавов системы Pt—Fe—Ni—Cu (по данным Л. Кабри и соавторов; Cabri и др., 1977).

1 — природные составы, М — тетраферроплатина из Мухук, Трансвааль (Cabri, Feather, 1975); 2 — гипотетические составы; 3 — ферроникельплатина.

сплавов платины, меди и никеля, по данным Л. Кабри и соавторов (Cabri и др., 1977). Фигуративная точка ферроникельплатины почти совпадает с положением гипотетической фазы  $\text{Pt}_2\text{FeNi}$ , существование которой предсказано Л. Кабри и соавторами (Cabri и др., 1976). Рентгенометрические данные и результаты изучения физических свойств нового минерала позволяют рассматривать его как никелевый аналог туламинита.

Условия образования. Ранее нами было показано, что ассоциация рутениридосмин I—твердый раствор (Pt, Ru, Ir, Os) образовалась в условиях мантийного зарождения гипербазитов. Ферроникельплатина и другие Fe—Pt сплавы, а также ассоциирующие с ними сульфиды и арсениды платиновых металлов представляют устойчивый в условиях земной коры сульфидно-платиновый парагенезис платиноидов, сформировавшийся при разложении минералов ранней ассоциации платиновых элементов (Рудашевский и др., 1983).

Цементно-полированный шлиф сростка минералов платиновых металлов, содержащий ферроникельплатину, передан в Горный музей Ленинградского горного института.

#### Литература

- Бегизов В. Д., Завьялов Е. Н., Хвостова В. П. (1976). Минералы ряда эрликманит—лаурит и холлингвортит—ирарсит из уральских россыпей. ЗВМО, вып. 2.
- Мочалов А. Г., Рудашевский Н. С. (1982). Новый формационный тип минерализации платиновых металлов. ДАН СССР, т. 267, № 4.
- Рудашевский Н. С., Мочалов А. Г., Жданов В. В. (1983). Минеральные парагенезисы платиноидов ультрамафитов. ЗВМО, вып. 1.
- Cabri J., Feather C. E. (1975). Platinum-iron alloys: a nomenclature based on a study of natural and synthetic alloys. *Canad. Miner.*, v. 13, pt. 2.
- Cabri L. J., Owens D. R., Laflamme J. H. G. (1973). Tulameenite, a new platinum-iron-copper mineral from placers in the Tulameen River area, British Columbia. *Canad. Miner.*, v. 12, pt. 1.
- Cabri L. J., Rosenzweig A., Pinch W. W. (1977). Platinum-group minerals from Onverwacht. I. Pt-Fe-Cu-Ni alloys. *Canad. Miner.*, v. 15, pt. 3.