

© С. Н. БРИТВИН, \* В. Д. КОЛОМЕНСКИЙ, \*\* д. чл. М. М. БОЛДЫРЕВА, \*\*\* А. Н. БОГДАНОВА, \*\*\*\* Ю. Л. КРЕЦЕР, \*\*\*\*\* О. Н. БОЛДЫРЕВА, \*\* д. чл. Н. С. РУДАШЕВСКИЙ\*\*\*\*\*

### НИКЕЛЬФОСФИД (Ni, Fe)<sub>3</sub>P — НИКЕЛЕВЫЙ АНАЛОГ ШРЕЙБЕРЗИТА<sup>1</sup>

S. N. BRITVIN, V. D. KOLOMENSKY, M. M. BOLDYREVA, A. N. BOGDANOVA,  
Yu. L. KRETZER, O. N. BOLDYREVA, N. S. RUDASHEVSKY. NICKELPHOSPHIDE (Ni, Fe)<sub>3</sub>P,  
THE NICKEL ANALOG OF SCHREIBERSITE

\* Кафедра минералогии, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034,  
Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

\*\* Санкт-Петербургский государственный горный институт (Технический университет),  
199026, Санкт-Петербурге, 21-я линия, 2

\*\*\* Кафедра полезных ископаемых, Санкт-Петербургский государственный университет,  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

\*\*\*\* Геологический институт КНЦ РАН, 184200, Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 14  
\*\*\*\*\* ЗАО «Механобр-Аналит», 199026, Санкт-Петербург, 21-я линия, 8А

The mineral occurs in the iron meteorites: Butler (holotype specimen), Canyon Diablo, Carlton, Edmonton (Kentucky), Kenton County, Lenarto, Monahans, Oktibeha County, in the carbonaceous chondrite Efremovka and in the unnamed Ni-rich ataxite (Aldan river, 1997). In the Butler iron nickelposphide is found as: (1) idiomorphous isometric grains up to 30 μm in microscopic kamacite lamellae, growing up on the kamacite-taenite phase boundary; (2) xenomorphous, in general elongated inclusions up to 200 μm long at the larger kamacite spindles. In reflected light the mineral white with pink-yellow tint. Anisotropy: none observed in air, weak in yellowish-pinkish colours (oil,  $n = 1.515$ ).  $R_{\max}/R_{\min}$  (λ) in air (%): 43.0/41.6 (440), 43.9/42.3 (460), 44.6/43.0 (480), 45.5/43.7 (500), 46.5/44.7 (520), 47.5/45.7 (540), 48.3/46.8 (560), 49.1/47.6 (580), 50.0/48.6 (600), 50.7/49.4 (620), 51.7/50.3 (640), 52.5/51.3 (660), 53.3/52.1 (680), 54.3/53.1 (700).  $VHN$  (load 25 g) 841–905 kg/mm<sup>2</sup>, mean 874 kg/mm<sup>2</sup>. Very brittle.  $D$  (calc.) 7.61(4) g/cm<sup>3</sup>. Cleavage none observed. Chemical composition (wt %), type 1/type 2: Fe 33.4/35.5; Ni 52.9/49.6; Co 0.0/0.2; P 14.6/15.3; Ge 0.0/0.0; Total 100.9/100.6. Empirical formula based on 4 atoms per unit: type, 1 — (Ni<sub>1.83</sub>Fe<sub>1.21</sub>)<sub>3.04</sub>P<sub>0.96</sub>; type 2 — (Ni<sub>1.71</sub>Fe<sub>1.28</sub>Co<sub>0.01</sub>)<sub>3.00</sub>P<sub>1.00</sub>. Simplified formula: (Ni, Fe)<sub>3</sub>P. Tetragonal,  $\bar{1}4$ ,  $a$  8.99 (1),  $c$  4.396 (7) Å,  $V$  355 (2) Å<sup>3</sup>,  $Z$  = 8. Strongest lines of X-ray powder pattern [ $d$  (1) ( $hkl$ )]: 2.48 (2) (031), 2.17 (10) (231), 2.13 (5) (330), 2.08 (5) (112), 2.01 (2) (240), 1.955 (7) (141), 1.803 (1) (222). The name is for the main constituents of chemical composition.

Шрейберзит (Fe, Ni)<sub>3</sub>P — один из самых распространенных минералов в метеоритах. В. Хайдингер (Haidinger, 1847) впервые описал его в железном метеорите Magura, а в настоящее время минерал известен в большинстве групп метеоритов (Dodd, 1981), в тектитах (Chao e. a., 1964) и в земных породах (Чухров и др., 1960). Наибольшим распространением минерал пользуется в железных метеоритах. Анализы минерала, приводимые в различных работах, показывают, как правило, преобладание железа над никелем (Buchwald, 1975; Clarke, Goldstein, 1978; Goldstein, Ogilvie, 1963; Reed, 1965).

Однако в ряде публикаций приводятся данные, где содержание Ni (в атомных процентах) превышает, иногда существенно, содержание железа (Goldstein, Ogilvie, 1963; Reed, 1965, 1972; Фисенко и др., 1988). Проведенное нами исследование подтвердило существование самостоятельного минерала — никелевого аналога шрейберзита. Этот минерал получил название никельфосфид (nickelphosphide) по основным минералообразующим элементам — никелю и фосфору.

Каких-либо работ, посвященных изоморфизму искусственных соединений в системе Fe<sub>3</sub>P—Ni<sub>3</sub>P, авторам найти не удалось. В природных твердых растворах Fe<sub>3</sub>P—Ni<sub>3</sub>P содержание никеля колеблется от 7 до 65 мас. % (Clarke, Goldstein, 1972),

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества РАН 16 апреля 1998 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 4 августа 1998 г.

Таблица 1

Химический состав (мас. %) никельфосфида из различных метеоритов  
 Chemical composition (wt %) of nickelfosphide from different meteorites

Компонент	Метеорит (Ссылка)											
	Butler (наши данные, табл. 4, ан. 4)	Butler (Reed, 1965)	Canyon Diablo (Goldstein, Orville, 1963)	Canyon Diablo (Reed, 1965)	Carlton (Reed, 1965)	Edmonton, Kentucky (Reed, 1965)	Ефремовка (Фисенко и др., 1988)	Kenton County (наши данные)	Lenapo (Reed, 1965)	Monahans (Reed, 1965)	Okibeha County (Reed, 1972)	Ачтан (наши данные)
Fe	35.8	(35.9)	41.2	(39.6)	(36.8)	(40.8)	32.61	36.2	(37.3)	(39.8)	20.0	35.1
Ni	49.3	49	43.6	45.2	48	44	54.37	48.9	47.5	45	65.1	49.6
Co	0.2	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	0.23	0.0	He опр.	He опр.	0.4	0.0
P	15.5	(15.1)	15.2	(15.2)	(15.2)	(15.2)	15.01	14.4	(15.2)	(15.2)	14.6	15.0
Сумма	100.8	(100.0)	100.0	(100.0)	(100.0)	(100.0)	102.3	99.5	(100.0)	(100.0)	100.1	99.7
Результаты расчета — 4 атома на формальную единицу												
Fe	1.29	1.31	1.49	1.44	1.34	1.48	1.17	1.33	1.36	1.45	0.74	1.28
Ni	1.69	1.69	1.51	1.56	1.66	1.52	1.85	1.71	1.64	1.55	2.28	1.72
Co	0.01						0.01	0.00			0.01	0.00
P	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.96	1.00	1.00	0.97	0.99
Размер зерна, мкм	110×80		15	30×300				15×8	7×30		84×400	60×30

Примечание. С. Рид (Reed, 1965) приводит лишь содержание Ni; количество Fe и P (все данные в скобках) рассчитано нами исходя из атомного соотношения (Fe + Ni): P = 3. Фисенко с соавторами (1988) кроме указанных элементов приводит: У 0.06, S 0.06 мас. %.

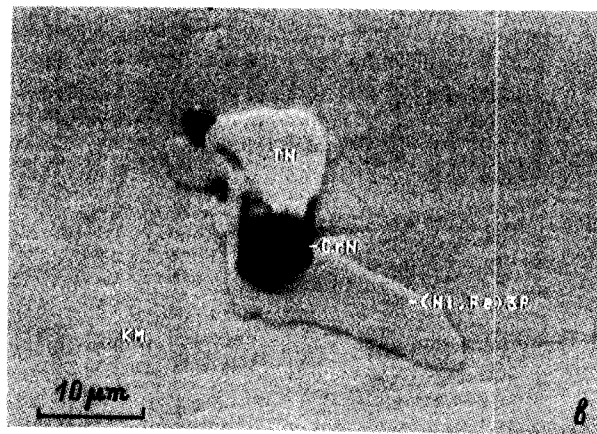
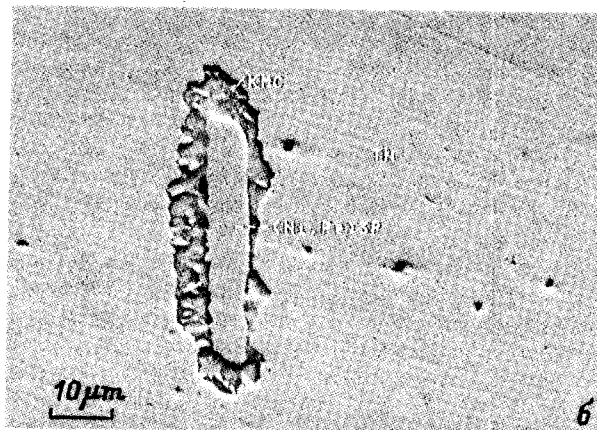
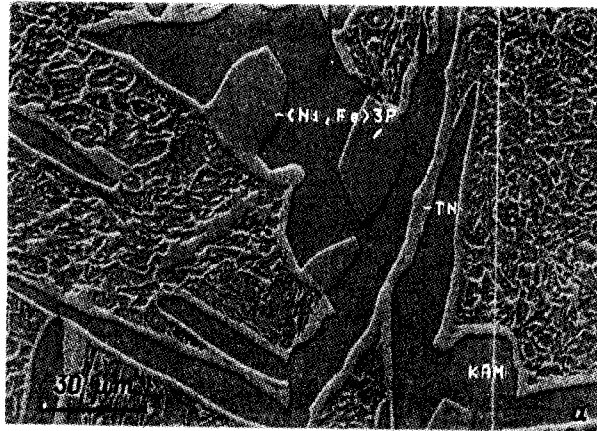
**Метеориты, в которых обнаружен никельфосфид**  
**Meteorites in which nickelposphide has been discovered**

Метеорит	Тип	Класс	Группа	Год и место находки
Butler	Железный	Плесситовый октаэдрит	Аномальный	До, 1874; Bates County, Missouri
Canyon Diablo	»	Грубоструктурный октаэдрит	IAB	1891; Coconino County, Arizona
Carlton	»	Тонкозернистый октаэдрит	IIIС	1887; Hamilton County, Texas
Edmonton (Kentucky)	»	Тот же	IIIС	1942; Metcalfe County, Kentucky
Ефремовка	Каменный	Углистый хондрит	CV3	1962; Павлодарская обл., Казахстан
Kenton County	Железный	Среднеструктурный октаэдрит	IIIА	1889; Kenton County, Kentucky
Lenarto	»	Тот же	IIIА	1814; S'aros, Slovakia
Monahans	»	Плесситовый октаэдрит	Аномальный	1938; Ward County, Texas
Oktibbeha County	»	Богатый Ni-атаксит	»	1854; Oktibbeha County, Mississippi
Без названия	»	»	Не опр.	1997; р. Алдан, Якутия

причем, согласно статистике, на этом участке изоморфный ряд непрерывен. Область, соответствующая составу никельфосфида, начинается при  $Ni \geq 43.4$  мас. %. Для природных членов ряда следует учитывать возможное присутствие кобальта, содержание которого, однако, никогда не превышает 1 %. Большая часть известных к настоящему времени анализов никельфосфида приведена в табл. 1. Первое указание на Ni-аналог шрейберзита приведено в работе Дж. Голдштейна и Р. Огилви (Goldstein, Ogilvie, 1963) для минерала из известного метеорита Canyon Diablo, показывающего незначительное преобладание Ni над Fe. Позднее С. Рид (Reed, 1965) привел данные по содержанию никеля в шрейберзите из 26 железных метеоритов, 6 из которых содержат минерал с преобладанием этого элемента. В следующей работе С. Рида (Reed, 1972) охарактеризован неклассифицируемый железный метеорит Oktibbeha County, аномально богатый никелем (60 мас. %). «Шрейберзит» из этого метеорита также необычен: его состав пересчитывается на формулу  $(Ni_{2.28}Fe_{0.74}Co_{0.01})_{3.03}P_{0.97}$ . Минерал образует крупные (до  $80 \times 400$  мкм) идиоморфные пластинчатые кристаллы. Никелевый аналог шрейберзита упоминается также в статье А. В. Фисенко и др. (1988): минерал установлен в составе богатой металлом и сульфидами частице в кальций-алюминиевом (CAI) включении метеорита Ефремовка (углистый хондрит).

При изучении минерального состава метеоритов из коллекции Горного музея Санкт-Петербургского государственного горного института (Технического университета) авторами данной статьи подтверждено присутствие никельфосфида в метеоритах Butler. Кроме того, минерал установлен нами в железном метеорите и в неназванном железном метеорите, найденном в 1997 г. в аллювиальных отложениях реки Алдан, Якутия. Суммируя все вышесказанное, можно назвать 10 метеоритов, содержащих никельфосфид (табл. 2). Следует отметить, однако, что ни в одной из цитированных работ для никелевого аналога шрейберзита не приводится других данных, кроме химического состава.

Образец метеорита Butler из коллекции Горного музея (обр. М-8/1) представляет собой прямоугольную полированную пластинку из внутренней части метеорита. Травление разбавленным нитратом (2 %-ный раствор  $HNO_3$  в изоамиловом спирте) в



Обособления никельфосфида  $(\text{Ni,Fe})_3\text{P}$  в различных железных метеоритах.

Протравлено легким ниталом. Фото во вторичных (а, б) и обратнорассеянных (в) электронах. КАМ, КМС и КМ — камасит, СrN — карлсбергит, TN — тэнит; а — тонкая структура метеорита Butler (обр. М-8/1); б — обособление никельфосфида с каймой камасита в матрице тэнита; неназванный метеорит из аллювия р. Алдан; в — сросток никельфосфида с тэнитом и карлсбергитом в камасите. Метеорит Kenton County (обр. 26/2).

Segregations of nickelporphide  $(\text{Ni,Fe})_3\text{P}$  in different iron meteorites.

течение 15 с при комнатной температуре выявило характерную для данного метеорита структуру (Buchwald, 1975, vol. 2, fig. 403, 406), легко наблюдаемую в отраженном свете и под электронным микроскопом во вторичных электронах (см. рисунок, *а*). По данным микроскопического наблюдения, образец не несет следов механических деформаций либо искусственного нагрева (Buchwald, 1975). Он состоит из микрозернистого плессита (прораствание камасита и тэнита, размер частиц 1—2 мкм), в котором в виде Видманштеттовой сетки распределены ламелли камасита (размерами до 50 × 300 мкм). Эти ламелли всегда окаймлены тонкой (2—3 мкм) зоной тэнита. Параллельно микроскопической сетке располагается более грубая Видманштеттова сетка, состоящая из сравнительно крупных ламелл камасита (до 0.5 × 15 мкм); по их удлинению располагаются «нити» тэнита шириной 10—30 мкм. Обособления никельфосфида всегда находятся в камасите, причем можно выделить два типа (или разновидности) минерала:

1) идиоморфные и, как правило, изометричные зерна (кристаллы?) размером 10—30 мкм в микроскопических ламеллях камасита, растущие от фазовой границы тэнит—камасит (см. рисунок, *а*);

2) ксеноморфные, обычно удлинённые зерна до 200 мкм в крупных ламеллях камасита.

Образцы метеорита из аллювия реки Алдан (общим весом около 100 г) были собраны в 1997 г. старателями при промывке одной из золотоносных россыпей р. Алдан и впоследствии переданы авторам для исследования. Индивидуальные округлые фрагменты неправильной формы имеют вес 5—10 г. С поверхности они покрыты тонким (100—500 мкм) слоем гидроксидов Fe и Ni. По химическому составу (Ni ~ 23 % (!)) метеорит относится к редкой группе — богатым Ni атакситам. Следует отметить, что описаны лишь единичные метеориты со столь же высоким содержанием никеля. Основная масса метеорита представлена тэнитом (23—25 % Ni). При травлении слабым нитратом выявляются многочисленные включения фосфидов, причем одновременно присутствуют зерна шрейберзита, баррингерита (Fe, Ni)<sub>2</sub>P и никельфосфида. Баррингерит образует тонкопризматические (?) кристаллы, а шрейберзит — неправильной формы зерна в тэните. Иногда наблюдается замещение баррингерита шрейберзитом. Никельфосфид образует неправильной и удлинённой формы зерна в тэните, причем его обособления легко отличимы по характерной тонкой кайме камасита (7 % Ni), окружающей каждое зерно (см. рисунок, *б*). Появление такой каймы не описывалось ранее и представляет собой, по-видимому, крайний случай диффузионного перераспределения Ni на границе металл—фосфид. Обоеднение камасита никелем на границе со шрейберзитом известно давно (Goldstein, Ogilvie, 1963), однако в нашем случае матрицей является тэнит, и обоеднение столь существенно, что приводит к полиморфному переходу тэнит—камасит.

В метеорите Kenton County (обр. М-26/2, Горный музей) никельфосфид образует мелкие (до 15 мкм) изометричные зерна, рассеянные в камасите. Для него характерны тесные срастания с тэнитом и карлсбергитом (CrN) — см. рисунок, *в*.

Для детального изучения свойств нового минерала был выбран метеорит Butler, где никельфосфид образует наиболее крупные обособления. Под микроскопом в отраженном свете зерна никельфосфида имеют белый цвет с розово-желтым оттенком, на фоне белого камасита и желтоватого тэнита. Блеск металлический, внутренние рефлексы отсутствуют. Анизотропия в воздухе незаметна. В масляной иммерсии ( $n = 1.515$ ) минерал слабо анизотропен в желтовато-розоватых тонах. Спектр отражения в воздухе (табл. 3) получен для второй разновидности никельфосфида на приборе МСФП-10; параметры съемки: объектив 21×, апертура 0.4,  $\Delta\lambda = 12$  нм, стандарт — Si.

При микроскопическом изучении зерен минерала спайность или отдельность не наблюдались, в то время как у шрейберзита отмечена хорошая спайность по {100} (Чухров, 1960). Возможно, это различие связано лишь с небольшим размером выделений никельфосфида, поэтому спайность не проявляется в полированных аншли-

Таблица 3

**Отражение (%) никельфосфида**  
**Reflection (R, %) of nickelphosphide**

$R_{\max}$	$R_{\min}$	$\lambda$ , нм	$R_{\max}$	$R_{\min}$	$\lambda$ , нм
43.0	41.6	440	49.1	47.6	580
43.9	42.3	460	50.0	48.6	600
44.6	43.0	480	50.7	49.4	620
45.5	43.7	500	51.7	50.3	640
46.5	44.7	520	52.5	51.3	660
47.5	45.7	540	53.3	52.1	680
48.3	46.8	560	54.3	53.1	700

**Количественные характеристики цвета никельфосфида (в воздухе)**

Источник света	R	x	y	$\lambda_d$ , nm	Re, %	Y, %
A	$R_1$	0.462	0.412	587	15.06	47.73
	$R_2$	0.461	0.413	566	13.61	49.23
C	$R_1$	0.328	0.336	576	15.53	45.88
	$R_2$	0.327	0.336	575	15.10	48.56

фах. Минерал очень хрупкий: трещины разрыва иногда наблюдаются при надавливании пирамидой Викерса с нагрузкой 25 г, при 50 г зерна разрушаются всегда. Твердость микровдавливания определялась на микротвердометре Buhler Micromet 2 с пирамидой Викерса, время экспозиции 10 с, нагрузка 25 г. Среднее значение — 874 кг/мм<sup>2</sup> при разбросе 841—905 кг/мм<sup>2</sup>.

Химический состав минерала изучен на сканирующем электронном микроскопе CamScan 4 при помощи волново-дисперсионного анализатора Microspec WDX. Ус-

Таблица 4

**Химический состав (мас. %) никельфосфидов из метеорита Butler**  
**Chemical composition (wt %) of nickelphosphide from meteorite «Butler»**

Компонент	1-й тип							средний
	1	2	3	4	5	6	7	
Fe	33.5	34.4	33.8	32.9	32.8	33.1	33.2	33.4
Ni	52.6	52.5	52.5	53.7	52.7	52.4	53.8	52.9
Co	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
P	14.8	14.2	14.3	14.8	15.2	14.8	14.2	14.6
Сумма	100.9	101.1	100.6	101.4	100.9	100.3	101.2	100.9
Компонент	2-й тип							средний
	8	9	10	11	12	13	14	
Fe	35.4	35.5	35.2	35.8	35.9	35.5	35.5	35.5
Ni	49.2	49.6	49.7	49.3	50.0	49.5	49.9	49.6
Co	0.1	0.2	0.0	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2
P	15.9	15.6	15.7	15.5	14.3	15.0	14.9	15.3
Сумма	100.6	100.9	100.6	100.8	100.5	100.4	100.5	100.6

Таблица 5

Результаты расчета рентгенограммы никельфосфида и близких соединений  
 Calculated X-ray powder diffraction data for nickelporphide and the similar compounds

Никельфосфид				Шрейберзит Chao с.а., 1964		Синтетический Fe <sub>3</sub> P JCPDS 19-617		Синтетический Ni <sub>3</sub> P JCPDS 34-501	
<i>nkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм</sub>	<i>d</i> <sub>расч</sub>	<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм</sub>	<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм</sub>	<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм</sub>
121	1	2.94	2.967	2	2.98			3	2.96
130	1	2.83	2.843	25	2.50			2	2.83
031	2	2.48	2.476					20	2.465
040			2.248					3	2.239
002			2.194	2	2.22				
321	10	2.17	2.169	100	2.19	100	2.20	100	2.161
330	5	2.13	2.119	50	2.13	45	2.14	30	2.110
112	5	2.08	2.077	70	2.11	40	2.11	60	2.073
420	2	2.01	2.010	50	2.02	80	2.03	40	2.004
202			1.975			20	2.00	16	1.971
411	7	1.995	1.953	70	1.972	100	1.978	90	1.947
222	1	1.803	1.808	35	1.833	20	1.832	20	1.804
510			1.763	25	1.778	35	1.785		
312			1.737	35	1.762	55	1.762	35	1.735
431			1.664	25	1.682	30	1.685		
042	1	1.568	1.571					5	1.568
521			1.560			10	1.580		
332			1.524					2	1.522
242			1.482					2	1.480
013			1.443					2	1.445
611			1.401			15	1.418	6	1.397
123	1	1.379	1.377					2	1.371
541			1.337					2	1.332
303			1.314			15	1.335	3	1.314
550			1.271			30	1.287		
323			1.261			65	1.281	20	1.261
640			1.247			15	1.262		
701			1.233			20	1.248	6	1.229
413			1.215	14	1.234	30	1.233		
622			1.193	14	1.205	20	1.209		
721			1.189			20	1.204		
433			1.135	10	1.153	30	1.151		
651			1.113			65	1.127		
004			1.097			80	1.115		
820			1.090	25	1.097	25	1.103		
642			1.084			55	1.098		
741			1.081			60	1.094		
				18	1.075				
750			1.045	25	1.053	20	1.058		
613			1.040			30	1.054		
831			1.023	14	1.032				
910			.993			60	1.005		
633			.988			25	1.002		
901			.974			10	.986		
424			.963			20	.978		
761			.952			60	.964		
723			.944			35	.957		
514			.9313			25	.946		
851			.9312			25	.943		
653			.9045			50	.917		
860			.8990			10	.910		
941			.8937			60	.905		
743			.8867			30	.899		

Примечание. Условия съемки никельфосфида: FeK $\alpha$ -излучение; камера РКУ-114.6 мм.

Таблица 6

Сравнительная характеристика никельфосфида и близких соединений  
Comparative characteristics of nickelporphide and the similar compounds

Характеристика	Никельфосфид (наши данные)	Шрейберзит Чжао е.а. (1964)	Синтетический Ni <sub>3</sub> P JCPDS, 34-501	Синтетический Fe <sub>3</sub> P JCPDS, 19-617
Формула	(Ni <sub>1.71</sub> Fe <sub>1.28</sub> Co <sub>0.01</sub> ) <sub>3.00</sub> P <sub>1.00</sub>	(Fe <sub>2.56</sub> Ni <sub>0.47</sub> ) <sub>3.03</sub> P <sub>0.97</sub>	Ni <sub>3</sub> P	Fe <sub>3</sub> P
Сингония	Тетрагональная	Тетрагональная	Тетрагональная	Тетрагональная
Простр. группа	$\bar{I}4$	$\bar{I}4$	$\bar{I}4$	$\bar{I}4$
<i>a</i>	8.99	9.056	8.952	9.1000
<i>c</i>	4.396	4.471	4.388	4.4592
<i>V</i>	355	367	352	369.3
<i>Z</i>	8	8	8	8
<i>c : a</i>	0.489	0.494	0.490	0.490
<i>D</i> <sub>в.м.</sub> (г/см <sup>3</sup> )	7.61	7.26	7.81	7.14

ловия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 20 нА. Эталоны — чистые металлы Fe, Ni и Co, для фосфора — InP. Результаты микрондовых анализов приведены в табл. 4. Особенностью химического состава метеорита Butler является аномально высокое содержание германия (Buchwald, 1975), поэтому наряду с обычными для шрейберзита элементами проводился анализ на Ge (эталон — чистый Ge), однако этот элемент в никельфосфиде не обнаружен, в то время как камасит (и особенно тэнит) содержат до 0.2 % Ge. Как видно в таблице, никельфосфид 1-го и 2-го типов незначительно, но систематически отличаются друг от друга по содержанию Co и Ni. Средний состав нового минерала пересчитывается (в расчете на 4 атома на формульную единицу) следующим образом:

- 1-й тип (Ni<sub>1.83</sub>Fe<sub>1.21</sub>)<sub>3.04</sub>P<sub>0.96</sub>,
- 2-й тип (Ni<sub>1.71</sub>Fe<sub>1.28</sub>Co<sub>0.01</sub>)<sub>3.00</sub>P<sub>1.00</sub>.

Поскольку размер зерен никельфосфида 2-го типа существенно больше, все физические свойства и рентгенограмма в настоящей работе получены именно для этой разновидности минерала.

Рентгенограмма порошка минерала получена методом Дебая—Шеррера в камере РКУ-114.6 нм (Fe<sub>Kα</sub>-излучение). Как видно в табл. 5, рентгенограмма никельфосфида близка к рентгенограммам синтетических Fe<sub>3</sub>P, Ni<sub>3</sub>P и природного шрейберзита. По аналогии с ними для никельфосфида принята тетрагональная сингония и пространственная группа  $\bar{I}4$ . Индексирование проведено по аналогии с Ni<sub>3</sub>P. Результаты уточнения параметров элементарной ячейки даны в табл. 6 в сравнении с данными для близких соединений.

Поскольку синтетические Fe<sub>3</sub>P и Ni<sub>3</sub>P изоструктурны и существует изоморфный ряд между этими соединениями, авторы предложили для нового минерала название никельфосфид (nickelporphide), игнорируя присутствие железа в его составе. Даже если имеет место разрыв смесимости в интервале от 75 мол. % Ni<sub>3</sub>P (минерал из метеорита Oktibbeha County) до чистого Ni<sub>3</sub>P, тем не менее последний также относился бы к никельфосфиду, согласно существующей номенклатуре.

Никельфосфид, согласно имеющимся данным, известен лишь в 10 метеоритах, однако, по-видимому, его распространенность в природе значительно шире. Дополнительные исследования несомненно выявят этот минерал при изучении шрейберзита из различных метеоритов. Голотипный образец никельфосфида (метеорит Butler) хранится в коллекции метеоритов Санкт-Петербургского государственного горного института (Технического университета), обр. М-8/1.



### Список литературы

- Мейсон Б. Метеориты. М.: Мир, 1965. 305 с.  
 Фисенко А. В., Игнатенко К. И., Люль А. Ю., Лаврихина А. К. Ассоциация металлических частиц с СаI (кальций-алюминиевыми включениями) в CV хондрите Ефремовка // Метеоритика. 1988. Вып. 47. С. 95—105.  
 Чухров Ф. В. (гл. ред.) Минералы. Т. 1. М.: Изд. АН СССР, 1960. 616 с.  
 Buchwald V. F. Handbook of Iron meteorites // University of California Press, Berkeley, 1975. Vol. 2.  
 Chao E. C. T., Dwornik E. J., Littler J. New data on the nickel-iron spherules from Southeast Asian tektites and their implications // Geochim. Cosmochim. Acta. 1964. Vol. 28. P. 971—980.  
 Clarke R. S., Jr., Goldstein J. I. Schreibersite growth and its influence on the metallography of coarse-structured iron meteorites // Smithsonian. Contrib. Earth Sci. 1978. Vol. 21. P. 1—80.  
 Dodd R. T. Meteorites. Cambridge University Press, 1981. 383 p.  
 Goldstein J. I., Ogilvie R. E. Electron microanalysis of Metallic Meteorites, Part. 1: Phosphides and Sulfides // Geochim. Cosmochim. Acta. 1963. Vol. 27. P. 623—637.  
 Haidinger W. Versammlung, am 16 Juli. Berichte über die Mitteilungen von Freunden der Naturwissenschaftlichen in Wien, 1847. H. 3. S. 69—71.  
 Haidinger W. Über das Meteoriten von Braunau // Ann. Physik. 1847. S. 580—582.  
 Reed S. J. B. Electron probe Microanalysis of Schreibersite and Rhodite in iron meteorites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1965. Vol. 29. P. 513—534.  
 Reed S. J. B. The Oktibbeha County Iron Meteorite // Miner. Mag. 1972. Vol. 38. P. 623—626.

Поступила в редакцию  
2 декабря 1998 г.

УДК 549.657(470.21)

ЗВМО, № 3, 1999 г.  
Proc. RMS, N 3, 1999

© Д. чл. И. В. ПЕКОВ,\* Н. В. ЧУКАНОВ,\*\* д. чл. А. П. ХОМЯКОВ,\*\*\*  
Р. К. РАСЦВЕТАЕВА,\*\*\*\* Я. В. КУЧЕРИНЕНКО,\* В. В. НЕДЕЛЬКО\*\*

### КОРОБИЦЫНИТ $\text{Na}_{3-x}(\text{Ti}, \text{Nb})_2[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{OH}, \text{O})_2 \cdot 3-4\text{H}_2\text{O}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ЛОВОЗЕРСКОГО МАССИВА, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ<sup>1</sup>

I. V. PEKOV, N. V. CHUKANOV, A. P. KHOMYAKOV, R. K. RASTSVETAEVA, Ya. V. KUCHERINENKO, V. V. NEDEL'KO. KOROBITSYNITE  $\text{Na}_{3-x}(\text{Ti}, \text{Nb})_2[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{OH}, \text{O})_2 \cdot 3-4\text{H}_2\text{O}$  — A NEW MINERAL FROM LOVOZERO MASSIF, KOLA PENINSULA

\* Московский Университет, 119899, Москва, Воробьевы Горы

\*\* Институт проблем химической физики РАН, 142432, Московская обл., п. Черноголовка

\*\*\* Институт минералогии, геохимии, кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) РАН, 121357, Москва, ул. Вересаева, 15

\*\*\*\* Институт кристаллографии РАН, 117333, Москва, Ленинский пр., 59

Korobitsynite,  $\text{Na}_{3-x}(\text{Ti}, \text{Nb})_2[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{OH}, \text{O})_2 \cdot 3-4\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral, orthorhombic Ti-dominant analogue of nenadkevichite was found at Alluaiv and Karnasurt Mts., Lovozero alkaline massif, Kola peninsula, Russia. It occurs in high-alkaline hydrothermalites as prismatic crystals up to 2 cm, together with aegirine, albite, elpidite, epididymite, lorenzenite, quartz, shortite, sidorenkite, natroxalate, etc. (Alluaiv) and grains up to 1 mm with aegirine, K-feldspar, elpidite, labuntsovite, natrolite, apophyllite, etc. (Karnasurt). Crystal forms: {110}, {001}, {010}, {100}, {021}. Epitaxial growths with elpidite are typical:  $a_{\text{el}} = c_{\text{cor}}$ ,  $b_{\text{el}} = b_{\text{cor}}$ ,  $c_{\text{el}} = a_{\text{cor}}$ . Colorless, transparent, streakwhite, lustre vitreous, cleavage (100) imperfect. Brittle, Mohs' hardness ~5.  $D_{\text{meas}} = 2.72$ ,  $D_{\text{calc}} = 2.69 \text{ g/cm}^3$ . Biaxial, positive,  $2V = 30$  (1). Refractive indexes change in accordance with composition:  $\alpha$  1.646—1.650,  $\beta$  1.654—1.658,  $\gamma$  1.763—1.780. Optical orientation:  $N_p = b$ ,  $N_m = c$ ,  $N_g = a$ . Average chemical composition of holotype, wt %:  $\text{Na}_2\text{O}$  13.87,  $\text{K}_2\text{O}$  0.03,  $\text{BaO}$  0.54,  $\text{ZrO}_2$  0.04,  $\text{TiO}_2$  21.38,  $\text{SiO}_2$  40.91,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10.14,  $\text{H}_2\text{O}$  12.20, total 99.11. Empirical formula:  $(\text{Na}_{2.62}\text{Ba}_{0.02})_{2.64}(\text{Ti}_{1.57}\text{Nb}_{0.45})_{2.02}[\text{Si}_4\text{O}_{12}](\text{OH}_{1.13}\text{O}_{0.03})_{2.16} \cdot 3.4\text{H}_2\text{O}$ ;  $Z = 2$ . Nenadkevichite—korobitsynite isomorphous series is established. The crystal structure is solved,  $R = 0.048$ . Unit cell parameters:  $a = 7.349$  (2),  $b = 14.164$  (2),  $c = 7.130$  (1) Å,  $V = 742.2$  (4) Å<sup>3</sup>, space group *Pbam*. IR spectrum is given. The mineral was named after M. F. Korobitsyn (1928—1996), an amateur mineralogist and collector, who made the significant contribution to the Lovozero massif mineralogy study.

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества РАН. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 6 июля 1998 г.