

© 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 nickelp-hosphide 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,  $n = 1.515$ ).  $R_{\max}/R_{\min}$  ( $\lambda$ ) 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 [ $d$  ( $hkl$ )]: 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. %) никельфосфиды 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

