

В. Д. КОЛОМЕНСКИЙ

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЛИВИНА ИЗ ПАЛЛАСИТА ПАЛЛАСОВО ЖЕЛЕЗО

Известны работы Г. Розе (Rose) [1, 2], Н. И. Кокшарова [3, 4, 5], А. Н. Заварицкого, Л. Г. Кваши [6], П. Н. Чирвинского [7] и других, в которых освещены отдельные вопросы по минералогии оливина из метеорита Палласово Железо. Данная работа обобщает ранее опубликованные и новые, полученные автором, результаты. Приведенные ниже результаты всесторонних исследований оливина основаны на изучении образцов палласита из различных коллекций¹. Все образцы Палласова Железа, кроме образцов Комитета по метеоритам АН СССР, имеют губчатую, ноздреватую поверхность с мелкими полостями от выкрошившихся зерен оливина, по которым можно получить представление о форме и размерах кристаллов этого минерала.

Морфология оливина. Форма кристаллов обычно округлая или овальная, с гладкой блестящей поверхностью. Большинство кристаллов имеет одну, две, три, реже больше, как правило, смежные грани, хотя иногда и со сглаженными ребрами. Поверхности граней плоские, реже выпуклые или вогнутые, а также бугорчатые с чередующимися выпуклыми и вогнутыми участками. На поверхности одного кристалла наблюдались полигональные слои роста. Размеры кристаллов оливина варьируют в широких пределах, от долей миллиметра до 15 мм, но чаще всего до 5 мм. Ранее гониометрическими исследованиями было установлено 19 простых форм [1—5, 8]. Автором совместно с проф. И. И. Шафрановским и Т. В. Пахомовой произведено гониометрическое изучение семи кристаллов оливинов (от обр. 677 и обр. 610/35), в которых удалось определить 15 простых форм (табл. 1, [11], рис. 1).

Характерной особенностью морфологии изученных кристаллов является наличие морфологических поясов, наиболее богатых формами. На первом месте стоят пояса [100] (шесть простых форм), [101] (пять простых форм), [010] (пять форм) и [001] (четыре формы). Затем пояса, содержащие по три формы—[201], [302] и [601]. Оси шести из семи отмеченных поясов лежат в плоскости (010), т. е. перпендикулярны второй кристаллографической оси [010].

Внутри некоторых кристаллов оливина в отдельных участках встречены «трубчатые каналы». Впервые сведения о них появились в работе Г. Розе [2], а затем у Н. И. Кокшарова [4]. Трубчатые каналы в оливине прямолинейно вытянуты в двух направлениях: вдоль [001] и [120]. Распределены они неравномерно. В целых кристаллах каналы не имеют выхода на поверхности и заканчиваются внутри их тупым закруглением. Некоторые каналы частично или полностью заполнены включениями вещества серо-черного цвета. Длина каналов колеблется от 40 до 400 мк имеет поперечное сечение до 3 мк. Форма сечения их близка к эллипсу.

¹ Комитета по метеоритам АН СССР (две крупных пластины и обр. 151, 677), Горного музея Ленинградского горного ин-та им. Г. В. Плеханова (обр. 610/35 и 77), Киевского геологического музея Института геологических наук АН УССР (обр. 25), Петрографо-минералогического музея Одесского университета им. И. И. Мечникова (обр. 12) и Музея естествознания Харьковского университета (обр. 4443/9).

Таблица 1

Простые формы кристаллов оливина в палласите Палласово Железо

Название формы	Обозначение простых форм [9]	Символы	По В. Гольдшмидту [10]		По Розе Г. [1, 2]	По Н. И. Кокшарову [4]	По Коломенскому В. Д. и др. [11]
Пинакоид	<i>b</i>	010	0°00	90°00	+	+	+
	<i>c</i>	001		0°00	+	+	+
Ромбическая призма типа { <i>hko</i> }	<i>m</i>	110	65°01	90°00	+	+	+
	<i>s</i>	120	47°01	90°00	+	+	+
	<i>r</i>	130	35°35	90°00	+	+	+
Ромбическая призма типа { <i>okl</i> }	<i>w</i>	012	0°00	16°20	—	+	+
	<i>h</i>	011	0°00	30°23	—	+	+
	<i>k</i>	021	0°00	49°33	+	+	+
	<i>p</i>	041	0°00	66°55	+	+	+
Ромбическая призма типа { <i>hol</i> }	<i>β</i>	106	90°00	11°51	—	+	—
	<i>v</i>	102	90°00	32°11	—	+	—
	<i>γ</i>	203	90°00	40°00	—	+	—
	<i>d</i>	101	90°00	51°32	+	+	—
Ромбическая дипирамида	<i>l</i>	131	35°35	65°12	+	+	+
	<i>f</i>	121	47°01	59°50	+	+	+
	<i>e</i>	111	65°01	54°15	+	+	+
	<i>o</i>	112	65°01	34°47	—	+	+
	<i>q</i>	116	65°01	13°02	—	+	+
	<i>α</i>	213	76°53	40°45	—	+	+

Примечание. + — форма установлена, — форма не установлена.

Пораметрические исследования, проведенные автором совместно с И. А. Юдиным и В. Н. Савельевым [12], показали, что для оливина из Палласова Железа характерно: 1) практическое отсутствие мелких пор диаметром $< 100 \text{ \AA}$, 2) более половины пор имеют диаметр 150—500 \AA и, наконец, 3) присутствие пор больших размеров, более 1000 \AA (рис. 2). Пory имеют разнообразные формы и размеры и расположены неравномерно.

Окраска кристаллов оливина зеленая, светло-зеленая, желтовато-зеленая до буроватой. Распределение окраски в кристаллах неравномерное — в краях желтовато-бурая до светло-зеленой, зеленой и желтоватой в центре. В отдельных кристаллах наблюдается пятнистое распределение окраски. Под бинокулярным микроскопом можно видеть, что кристаллы оливина зеленого или светло-зеленого цвета содержат участки, окрашенные за счет вторичных включений окислов и гидроксидов железа, проникших в кристаллы по трещинкам.

Прозрачность оливина зависит, главным образом, от степени трещиноватости кристаллов и наличия в трещинках вторичных продуктов. Блеск стеклянный.

Оптические свойства оливина из метеорита Палласово Железо изучались на обр. 610/35. Показатели преломления оливина, по определению М. И. Хогиной, следующие: $N_g = 1,697 \pm 0,002$; $N_m = 1,677 \pm 0,002$ и $N_p = 1,657 \pm 0,002$; $N_g - N_p = 0,040$ и $+2V = 90^\circ$.

Результаты спектрофотометрических исследований [13] в видимом диапазоне света (400—750 нм) для девяти проб обр. 610/35 в разных фракциях приведены на рис. 3 и в табл. 2, где показаны спектры отражения и дана краткая визуальная характеристика и спектральное положение максимумов поглощения исследуемых образцов. Сравнение спектров оливинов, полученных для различных фракций показало, что по мере уменьшения размера зерен увеличивается отражательная способность и, как правило, отчетливее проявляется тонкая структура спектров.

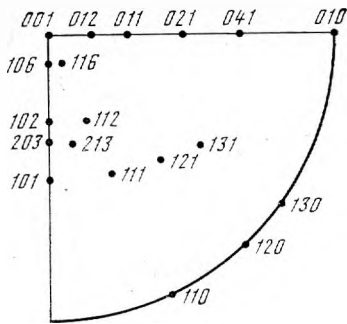


Рис. 1. Сводная гномостереографическая проекция граней кристаллов оливина палласита Палласово Железо

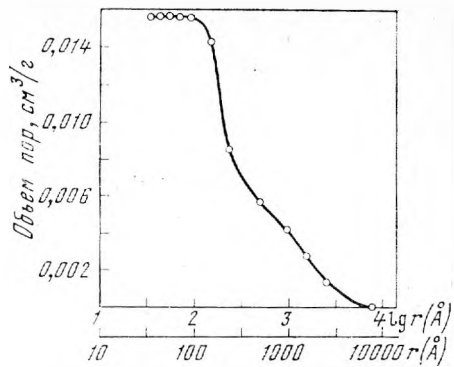
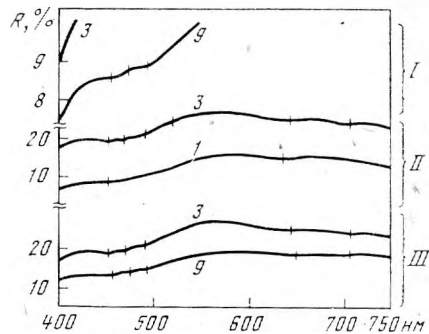


Рис. 2. Интегральная кривая распределения объема пор по радиусам в оливине палласита Палласово Железо (19)

Рис. 3. Спектры отражения порошковых проб оливинов и палласита Палласово Железо

I — фракция < 0,25 мм (3 и 9), снята в увеличенном масштабе;
 II — фракция < 0,25 мм (3) 0,5–1,0 мм (1), сняты в нормальном масштабе;
 III — фракция < 0,25 мм (3 и 9), снята в увеличенном масштабе;
 Короткие штрихи на спектральных кривых отмечают положение максимумов полос поглощения (10)



Как видно из рис. 3, для спектров оливинов характерно наличие широкой и интенсивной полосы поглощения, максимум которой (на рис. 3 минимум кривой) располагается в ультрафиолетовой области, а в видимом диапазоне наблюдается только правое крыло этой полосы. Для полученных спектров характерно проявление в длинноволновом участке видимого света второй интенсивной и широкой полосы поглощения, точнее, левого крыла этой полосы (максимум поглощения ее располагается, очевидно, в ближней инфракрасной области). Интенсивностями этих двух главных полос поглощения, т. е. глубиной «долин», описываемых крыльями полос, а также спектральными положениями краев полос в основном и определяется окраска оливинов.

Таблица 2

Цвет и спектральное положение максимумов поглощения оливинов из палласита Палласово Железо

Образец	Цвет	Положение в спектре наблюдаемых максимумов поглощения, нм				
		452	470	490	650	710
3	Светло-зеленый	452	470	490	650	710
6	Светло-желтый	454	474	495	638	708
9	С примазками окислов железа	454	474	495	640	708

Спайность по (010) средняя и по (001) несовершенная. Кристаллы оливина сильно трещиноваты. Распределена трещиноватость неравномерно как внутри отдельного кристалла, так и в других кристаллах пластины палласита. Встречаются трещины ровные и неровные, тонкие (видимые только при увеличении) и широкие. В кристаллах встречаются ровные трещины (как одиночные, так и в виде системы или пересекающихся систем субпараллельных трещин), по-видимому, приуроченные к плоскостям спайности оливина. В просмотренных кристаллах оливина отмечено несколько типов сколов (изломов): гладкий, по-видимому, приуроченный к спайности, раковистый и так называемый ручьевой узор, характеризующий распределение напряжений еще нерасколовшихся кристаллов [11].

Плотность была определена на термоградиентной трубке в лаборатории ВСЕГЕИ Т. И. Гурдовой для оливина обр. 610/35 и равна 3,3612 г/см³ (для сравнения — 3,3404 при $t=20^\circ$ [14]; 3,362 при $t=17^\circ$ [15]; 3,3372 и 3,3415 [4]).

Химический состав приведен в табл. 3. Известно 11 химических анализов оливина из палласита Палласово Железо (табл. 3), где числовые значения по трем главным окислам MgO, FeO и SiO₂ довольно близки, кроме двух анализов нечистого оливина (табл. 3, колонки 9 и 12). Наблюдающиеся небольшие колебания можно объяснить погрешностью при выполнении анализа и, возможно, некоторыми колебаниями химического состава в разных участках палласита. На остальные окислы приходится менее 1%. Для некоторых окислов содержание, по данным разных авторов, резко колеблется от нуля до десятых долей процента, например для MnO, Al₂O₃ и SnO₂. Вполне вероятно, что максимальные значения для этих окислов завышены.

По среднему из девяти анализов (табл. 3) автором рассчитана кристаллохимическая формула: $(Mg_{1,740}Fe_{0,240}Mn_{0,003}Al_{0,001})_{1,984} [Si_{0,998}O_4]$.

Таблица 3

Химические анализы оливина палласита Палласово Железо

Окисел	Среднее из трех анализов Штромера [14]	Анализ Вальмштеда [15]	Анализ Вердслуса [16]	5	Анализ М. Лейхтенбергского [4]	7	Анализ Баумхуэра [17]	Анализ Уайтфильда [7]	Анализ Е. Н. Егоровой [18]	Анализ М. М. Лукьянчиков и В. А. Харитоновой [19]	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	38,48	40,83	40,8	40,56	40,00	40,17	40,87	37,22	40,43	40,43	39,47
MgO	48,42	47,74	47,35	47,19	47,75	47,28	46,93	47,07	48,05	46,57	45,58
FeO	11,19	11,53	11,72	11,87	11,61	11,92	12,11	15,21	11,40	11,51	13,65
MnO	0,31	0,29	0,43	0,29	Не опр.	—	—	0,00	Не опр.	—	—
CaO	—	Следы	—	—	—	—	—	—	Не обн.	—	—
Al ₂ O ₃	0,18	»	—	0,06	Следы	Следы	—	0,46	»	0,63	0,43
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	—	—	Следы	—	—	—	—	—	—	—	—
K ₂ O	—	—	»	—	—	—	—	—	—	—	—
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	Не обн.	—	—
NiO	0,00	—	0,00	—	—	—	—	—	»	—	—
SnO ₂	—	—	0,17	Не опр.	0,07	0,09	—	0,00	—	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	Не опр.	—	—
O при 110°	—	—	—	—	—	—	—	—	0,14	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	Не опр.	—	—
Сумма	98,58	100,39	100,53	99,97	99,43	99,46	99,91	99,96	99,72	99,14	99,13

Содержание фаялитового компонента получилось равным 12,12 мол.%, а по P. R. Buseck, J. I. Goldstein [20] и по V. Mason [21]—12,5 мол. %.

По содержанию FeO в оливине, Ni в никелистом железе и никелистого железа в палласите данный метеорит относится к первой подгруппе второй группы палласитов классификации А. А. Явнеля [22].

Микронзондовые исследования дали содержание $Fe=9,25 \pm 0,12$ вес.%, $Mg=29,0$ вес.% [26]. Если эти значения пересчитать на окислы, получим $FeO=11,89 \pm 0,15\%$ и $MgO=48,07$, что очень близко к данным этих окислов в среднем из анализов (см. табл. 3).

Содержание элементов-примесей в оливине палласита Палласово Железо приведено в табл. 4. Кроме того, отмечают следы мышьяка [23], но Е. Е. Schmid [24] считает, что он попал в оливин как вторичный продукт выветривания из соединений никелистого железа.

Таблица 4

Содержание элементов-примесей в оливине палласита Палласово Железо

Элементы и содержание	Из какой работы	Вид анализа
Ni = 0,003% *	А. А. Явнель [25]	Спектральный
Co = 30 ± 2 , ppm	Л. Н. Коломейцева [26]	Электронное зондирование
Cr = 150 ± 50 ppm		
Mn = $0,20 \pm 0,01$ вес. %		
U = $2,0 \pm 0,1 \times 10^{-7}$ г/г; $1,9 \pm 0,2 \times 10^{-7}$ г/г; $1,7 \pm 0,1 \times 10^{-7}$ г/г и $1,8 \pm 0,1 \times 10^{-7}$ г/г	М. М. Шац ** [27]	Люминесцентный и активационный
Hg = $1,2 \times 10^{-6}$ % и $4,5 \times 10^{-6}$ %	Л. Г. Кваша и др. [28]	Химический
He ³ = $39 \pm 2 \times 10^{-8}$ см ³ /г	Г. Н. Меггюе [29]	Масс-спектрометрический
He ⁴ = $232 \pm 12 \times 10^{-8}$ см ³ /г		
Ne ²⁰ = $12,6 \pm 0,5 \times 10^{-8}$ см ³ /г		
Ne ²¹ = $13,5 \pm 0,5 \times 10^{-8}$ см ³ /г		
Ar ³⁶ = $0,11 \pm 0,01 \times 10^{-8}$ см ³ /г		
Ar ³⁸ = $0,17 \pm 0,01 \times 10^{-8}$ см ³ /г		
Ar ⁴⁰ = $16,1 \pm 0,8 \times 10^{-8}$ см ³ /г		
K = $2,6 \pm 0,3$ ppm	Г. Н. Меггюе [29]	Нейтронно-активационный
Ru = $1,40 \pm 0,16 \times 10^{-6}$ г/г		
Vt = $0,50 \pm 0,05 \times 10^{-6}$ г/г	Из доклада на XIV Метеоритной конференции	
Os = $0,06 \pm 0,006 \times 10^{-6}$ г/г		
Ir = $0,020 \pm 0,002 \times 10^{-6}$ г/г		
Pt = $1,00 \pm 0,13 \times 10^{-6}$ г/г	А. П. Виноградова	
Au = $0,070 \pm 0,004 \times 10^{-6}$ г/г	Ю. А. Сильвановича «Содержание благородных металлов и золота в палласитах», 1972 г.	

Примечание. * Л. Н. Коломейцева [26] электронным зондом определила содержание никеля равно 60 ± 10 ppm. ** По данным М. М. Шац [27], содержание урана в металлической части на порядок меньше, чем в оливине.

Структура. Рентгенометрическому исследованию была подвергнута проба № 77 (съемка пробы проведена Т. А. Лукьяновой-Соседко). Расшифровка дебаграммы этой пробы показала, что все линии относятся к оливину (табл. 5). Размеры элементарной ячейки, определенные по рентгенометрическим данным, получились равными $a_0 = 4,768 \pm 0,005$ Å; $b_0 = 10,22 \pm 0,02$ Å и $c_0 = 6,008 \pm 0,005$ Å.

Таблица 5

Рентгенограмма пробы оливина из палласита Палласово Железо

№ п/п	Проба № 77			Эталон оливина [30]			№ п/п	Проба № 77			Эталон оливина [30]		
	I	d α /n		I	d α /n	hkl		I	d α /n		I	d α /n	hkl
1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
1			6	5,130	020		26	2	1,514				
2	6	3,90	9	3,893	021		27	7	1,500	6	1,496	004	
3	3	3,70	4	3,724	101		28	8	1,481	6	1,479	062	
4	4	3,49	6	3,494	120; 111		29	6	1,395	5	1,394	233; 312	
5			4	3,333	030		30	6	1,350	6	1,349	322; 340	
6	3	3,08	3	2,985	002		31	5	1,316	4	1,314	134; 341; 243	
7	10	2,78	10	2,772	130; 131		32	4	1,296	1	1,295	044	
8	10	2,52	10	2,508	131		33	1	1,256			214; 262	
9	10	2,46	10	2,455	112; 140; 122		34	3	1,224			351; 253	
10	2	2,36	2	2,326	041		35	5	1,189	3	1,188	400	
11	7	2,27	8	2,263	140; 122 (?)		36	4	1,164	2	1,179	333; 025	
12	4	2,16	4	2,158	211; 220		37	3	1,155	1	1,154	420; 125; 352	
13	3	2,03			221; 132		38	4	1,138	1	1,135	421; 126; 361	
14	6	1,93			222; 240		39	4	1,131				
15	1	1,88	2	1,880	150; 202 (?)		40	5	1,123	2	1,124	064; 430	
16	3	1,85					41	4	1,113	2	1,116	343	
17	4	1,81					42	2	1,103	4	1,0988	412; 135	
18	4	1,79	2	1,787	142; 151		43	6	1,096				
19	10	1,749	10	1,747	222; 240		44	4	1,078	2	1,0803	422; 440	
20	5	1,675	3	1,670	241		45	3	1,071	2	1,0739		
21	7	1,639	3	1,640	061; 232		46	4	1,061	2	1,0637	441; 353	
22	6	1,615	3	1,617	133		47	10	1,035	6 ш	1,0354	334	
23	3	1,592			152 (?) ; 300 (?)		48	2	1,026	5 ш	1,0206		
24	4	1,569	2	1,568	043; 310		49	8	1,020				
25	4	1,537			301		50	3	1,005	3 ш	1,0013		

Произведенные автором расчеты параметров элементарной ячейки по среднему химическому составу оливина (табл. 3): $a_0=4,763 \text{ \AA}$; $b_0=10,229 \text{ \AA}$ и $c_0=5,996 \text{ \AA}$. Как видно, значения параметров, полученные на основании рентгенометрических данных и вычисленные по среднему химическому анализу, близки. Некоторое исключение составляет c .

Известно [9], что для структуры оливина характерно наличие ремнекислородных тетраэдров и двух искаженных октаэдров (M_1 и M_2). Оба катиона (Fe^{2+} и Mg) в положениях M_1 и M_2 находятся в центрах искаженных октаэдров с искаженной симметрией. Методом гамма-электронной спектроскопии установлено неравномерное распределение Fe^{2+} по октаэдрам в положениях M_1 и M_2 , значения которых оказались для оливина палласита Палласово Железо следующими: $45,6 \pm 6,0\%$ для M_1 и $54,4 \pm 6,0\%$ для M_2 [31].

Радиоγενный (абсолютный) возраст или возраст удержания газов был определен [29] по содержанию калия и радиогенного аргона в оливине палласита Палласово Железо и оказался равным $4,3 \times 10^9$ лет. Таким образом, дифференциация и кристаллизация оливинов палласита происходила не менее $4,3 \times 10^9$ лет тому назад. Скорость остывания для Палласова Железа была $0,8^\circ$ за один миллион лет [20].

Радиационный (космический) возраст был определен по содержанию He^3 , Ne^{21} и Ar^{38} , по которым соответственно получались следующие

цифры: 20×10^6 лет, 24×10^6 лет и 21×10^6 лет [29]. Средний радиационный возраст оливина (и палласита) равен $22 \pm 2 \times 10^6$ лет. Известно, что с момента выделения метеорита в виде отдельного космического тела оно начинает подвергаться облучению, данный возраст и датируется именно это событие.

Треки обнаружены в оливине палласита путем травления. Плотность следов (треков) ядер группы железа определялась в 27 образцах пробах, взятых из внутренней части метеорита и равна $10^2/см^2$ — $10^3/см^2$ [32]. На основании этих значений авторы высказывают предположение, что метеорит Палласово Железо входил в состав внутренней области более крупного доатмосферного тела, которое разрушилось на куски при вхождении в атмосферу Земли.

Текстура и структура палласита. Метеорит имеет микропорфирно-видную структуру, где выделения как отдельных более или менее изометрических кристаллов оливина, так и их агрегатов находятся в цементирующей металлической массе с примесью пирротина и шрейберзита. Текстура метеорита более или менее однородная. Оливин имеет широкое распространение в метеорите. Распределение его неравномерное и в разных образцах количество оливина колеблется от 62,8 до 71,38 об.%. Среднее содержание его в метеорите 71,27 об.% [7].

Возрастные взаимоотношения и парагенезис оливина. Кристаллы оливина сцементированы металлической частью палласита. Главными минералами, слагающими металлическую часть (никелистое железо) палласита, являются камасит, тэнит и их смесь — плессит. Содержание никелистого железа (в трех образцах) по объему колеблется от 28,62% до 37,07%, среднее — 28,73 об.% или 47,81 вес.% [7]. Камасит и тэнит образуют непрерывные переходы от тончайшей октаэдритовой структуры к фельзитовидному плесситу, причем замечено, что чем тоньше структура, тем менее правильное октаэдрическое расположение балочек [6]. Непосредственно кристаллы оливина облекает камаситовая каемка, толщина которой колеблется от 0,3 до 1 мм, а в среднем 0,5 мм [6]. Далее идет оболочка тэнита (толщиной до сотых долей миллиметра), которая в свою очередь облекает плесситовые поля. Последние обычно имеют вытянутую и изогнутую форму и размеры этих выделений до 4 мм в длину.

Из акцессорных минералов здесь встречены шрейберзит, троилит, графит², окислы и гидроокислы железа. Хотя непосредственно присутствие хромита или добреелита в метеорите не обнаружено, присутствие хрома, установленное А. Laugier [33], косвенно указывает на их нахождение, по крайней мере одного из них.

Шрейберзит рассеян в виде мелких зернышек по тэниту или образует несколько более крупные выделения рыхлой массы между кристаллами оливина и камаситом. На границе между некоторыми кристаллами оливина, а также между оливином и камаситом встречены зерна троилита, в последнем случае в виде неправильных образований внутри окислов железа. В небольшом количестве в палласите был обнаружен графит [34], который ранее принимался за «аморфный углерод» [16].

Окислы и гидроокислы железа являются вторичными и образовались частично в атмосфере во время полета, а в основном на земной поверхности за счет окисления металлической части метеорита, и распространены по всей поверхности палласита, преимущественно по трещинкам. Иногда они образуют кайму натечной формы вокруг зерен оливина [6].

² И. И. Берцелиус [16] определил содержание «аморфного углерода», т. е. графита, равное 0,043% и шрейберзита — 0,48%.

Итак, последовательность образования минералов в палласите Палласово Железо выглядит следующим образом:

	троилит		камасит
Оливин	→ шрейберзит	→ тэнит I	→ тэнит II
	графит		плессит

Несколько неясно положение в этом ряду хромита (или добрелита), но, судя по литературным данным, в других метеоритах они кристаллизуются до никелистого железа.

Сравнение приведенных типоморфных особенностей оливина из палласита Палласово Железо с оливинами из других палласитов [6, 7, 11—13, 20—22, 26—29, 31, 32, 35, 36], других классов метеоритов [6, 11—13, 19, 22, 27—29, 35, 36], лунных [26, 35, 37] и земных [7, 9, 11—13, 18, 30, 35, 38] пород показывает, что по своим особенностям изученный оливин отличается от оливинов перечисленных выше пород. Это, вероятно, связано со специфическими условиями образования оливина в палласите Палласово Железо.

ЛИТЕРАТУРА

- Rose G., Stromeyer F. Über die in den Meteorsteinen vorkommenden kristallisierten Mineralien.—Ann. Phys. und Chem. I. C. Poggendorff, IV. 1825.
- Rose G. Beschreibung und Einteilung der Meteoriten auf Grund der Sammlung im mineralogischen Museum zu Berlin.—Phys. Abhandl. Akad. Wiss. Berlin, 1863.
- Кокшаров Н. И. Материалы для минералогии России, ч. 5.—Горный журнал, 1869.
- Кокшаров Н. И. Об оливине Палласова Железа, СПб, 1870.
- Кокшаров Н. И. Об оливине Палласова Железа.—Зап. Имперск. С.-Петербургского Минерал. о-ва, вторая серия, ч. 6. СПб, 1871.
- Заварицкий А. Н., Кваша Л. Г. Метеориты СССР. Изд-во АН СССР, 1952.
- Чирвинский П. Н. Палласиты. «Недра», 1967.
- Розе Г. Описание и разделение метеоритов, основываясь на собрании минералогического музея в Берлине. СПб., 1866.
- Минералы. Справочник, т. 3, вып. 1. «Наука», 1972.
- Goldschmidt V. Kristallographische Winkeltabellen.—Berlin, J. Springer, 1897.
- Коломенский В. Д., Пахомова Т. В., Шафрановский И. И. Кристалломоρφология оливина в палласитах.—Метеоритика, вып. 33, 1974.
- Савельев В. Н., Коломенский В. Д., Юдин И. А. Исследование пористости оливинов и энстатитов метеоритного и земного происхождения.—Метеоритика, вып. 34, 1975.
- Коломенский В. Д., Вохменцев А. Я. Сравнительное спектрофотометрическое изучение оливинов некоторых палласитов и земных горных пород.—В кн.: Проблемы космохимии, вып. 2. «Наукова думка», 1975.
- Stromeyer F. De Olivini, Chrisolithi et fossiles. quod cellulas et cavernulas ferri meteorici Palasii explet. analysi chemica.—Nachr. von Gef. Ans. Ges. Wiss. Göttingen, 1824.
- Walmstedt L. P. Försök at bestämna Peridotens sammansättning.—Kgl. vetenskaps-Acad. handl. Stockholm, 1824.
- Berzelius I. J. Über Meteorsteine.—Ann. Phys. und Chem. I. C. Poggendorff. 1834, XXXIII.
- Baumhauer von E. H. Sur l'olivine du fer météorique de Pallas.—Arch. neerl. sci. exactes et natur., La Haye, 1871, VI.
- Егорова Е. Н. О никеленосности оливина.—Зап. Всерос. минер. о-ва, ч. 67, вып. 2, 1938.
- Дьяконова М. И., Харитонова В. Я. Состав никелистого железа некоторых железных и железокремневых метеоритов разных типов.—Метеоритика, вып. 23, 1963.
- Buseck P. R., Goldstein J. I. Olivine compositions and cooling rates of pallasitic meteorites.—Bull. Geol. Soc. America, 1969, 80, N 11.
- Mason B. The pallasites.—Amer. Museum Novitates, N 2163. 1963.
- Явнель А. А. Классификация метеоритов по вещественному составу.—Метеоритика, вып. 15, 1958.
- Rumler K. Entdeckung der arsenigen Säure in dem olivinähnlichen Mineral aus dem Meteoreisen von Atacama in Bolivia und von Krasnojarsk in Sibirien.—Ann. Phys. und Chem. I. C. Poggendorff. 1840, XLIX.
- Schmid E. E. Olivin aus dem Meteoreisen von Atacama.—Ann. Phys. und Chem. I. C. Poggendorff. 1851, LXXXIV.
- Явнель А. А. Соотношение различных форм железа в хондритах.—Метеоритика, вып. 22, 1962.
- Коломейцева Л. Н. Об условиях равновесия в палласитах.—Метеоритика, вып. 34, 1975.
- Шац М. М. Распространенность урана в метеоритах. Канд. дис., Л., 1958.

28. *Кваша Л. Г., Озерова Н. А., Айдиньян Н. Х., Шикина Н. Д.* Ртуть в метеоритах.— Метеоритика, вып. 31, 1972.
29. *Megrue G. H.* Rare gas chronology of hypersthene achondrites and pallasites.— J. Geophys. Res., 1968, 73, N 6. March 15.
30. *Елисеев Э. Н.* Рентгенометрическое изучение минералов изоморфного ряда форстерит — фаялит.— Зап. Всесоюз. минер. о-ва, ч. 86, № 6, 1957.
31. *Малышева Т. В., Кураш В. В., Ермаков А. Н.* Исследование изоморфного замещения Mg и Fe²⁺ в оливинах методом гамма-резонансной мёссбауэровской спектроскопии.— Геохимия, 1969, № 11.
32. *Отгонсурэн О., Перельгин В. П.* Об идентификации следов тяжелых ядер первичного космического излучения в минералах из метеоритов.— Препринт ОИЯИ, Р7-7406, Дубна, 1973.
33. *Laugier A.* Exériences propres à confirmer l'opinion émise par des naturalistes sur l'identité d'origine entre le fer de Sibirie et les aérolithes.— Ann. Physik, 1818, LVIII.
34. *Reichenbach C.* Über die Zeitfolge und die Bildungsweise der höheren Bestandtheile der Meteoriten.— Pogg. Ann., Bd. 1859, CVIII.
35. *Коломейцева Л. Н.* Оливины — показатели физико-химических условий образования метеоритов и земных ультраосновных пород. Автореф. канд. дис., Изд-во МГУ, 1975.
36. *Мэйсон Б.* Метеориты. «Мир», 1965.
37. *Wood J. A., Marvin U. B., Powell B. N., Dickey J. S.* Mineralogy and petrology of the Appollo 11 lunar sample.— Spec. Rept Smithsonian Astrophys. Observ., 1970, N 307.
38. *Заварицкий А. Н.* Изверженные горные породы. Изд-во АН СССР, 1955.