

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.32 : 552.321 (425.1)

© С. Н. БРИТВИН,* д. чл. Н. С. РУДАШЕВСКИЙ,** д. чл. А. Н. БОГДАНОВА,***
д. чл. Д. К. ЩЕРБАЧЕВ****

МИАССИТ $Rh_{17}S_{15}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ РОССЫПИ РЕКИ МИАСС (УРАЛ)¹

S. N. BRITVIN, N. S. RUDASHEVSKY, A. N. BOGDANOVA, D. K. SHCHERBACHEV. MIASSITE $Rh_{17}S_{15}$,
A NEW MINERAL FROM A PLACIER OF MIASS RIVER, URALS

* Санкт-Петербургский университет, кафедра минералогии,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

** РАО «Механопр-Анализ», 199026, Санкт-Петербург, 21-я линия, 8А, e-mail: rudash@online.ru

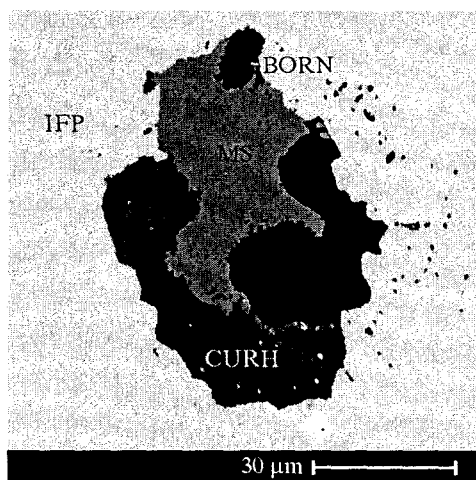
*** Геологический институт Кольского научного центра РАН, 184200, Апатиты, ул. Ферсмана, 14

**** Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС),
109017, Москва, Старомонетный пер., 31

Miassite has been found in a small unnamed placer deposit in the upper part of Miass river, South Urals, Russia. It appears as rounded inclusions up to 70×100 mkm in grains of isoferroplatinum. Associated minerals are cuprorhodsite, ferrosrhodsite, vasilite, cooperite, bornite, boweite, keithconnite. In reflected light miassite is gray with bluish tint. Isotropic. R (λ) in air (%): 37.6(420), 38.0(440), 38.3(460), 38.6(480), 39.0(500), 39.9(520), 39.0(540), 39.0(560), 39.1(580), 39.0(600), 38.7(620), 38.6(640), 38.8(660), 38.6(680), 38.4(700). VHN (load 10 g) 724—736 kg/mm², mean 730 kg/mm². Brittle. D (calc.) 7.42 g/cm³. Cleavage and parting are not observed. Chemical composition (wt %), mean of 5 analyses: Ru 0.4, Rh 59.3, Pd 6.4, Os 0.3, Ir 0.5, Pt 6.8, Fe 1.4, Ni 1.9, Cu 1.8, S 21.0, total 99.8. Empirical formula based on 32 atoms per formula unit: $(Rh_{12.99}Pd_{1.36}Pt_{0.79}Ni_{0.73}Cu_{0.64}Fe_{0.56}Ru_{0.09}Ir_{0.06}Os_{0.04})_{17.26}S_{14.76}$ corresponding to $Rh_{17}S_{15}$. Cubic, $Pm\bar{3}m$, a_0 10.024(5), V_0 1007 Å³, $Z=2$. Strongest lines of powder diffraction pattern [$d(hkl)$]: 3.33(20)(221), 3.17(7)(310), 3.02(9)(311), 2.68(5)(321), 2.24(9)(420), 1.931(8)(333,511), 1.774(10)(440). It is named after type locality, Miass river, Urals, Russia.

Природные сульфиды родия неоднократно упоминаются при описаниях платиновых месторождений различного генезиса. Помимо боуита Rh_2S_3 , единственного достоверно установленного минерала в системе Rh—S, отмечались и малоизученные минералы с атомным соотношением (Rh, Pt, Ru, Os, Ir, Fe, Ni, Cu)/S, близким к 1:1. Первое такое упоминание можно найти в работе (Feather, 1976), посвященной исследованию минералов платиновой группы из Витватерсранда (ЮАР). Годом позднее (Kingston, 1977) близкий сульфид отмечается в ассоциациях минералов Бушвельдского комплекса (ЮАР). В работе Л. Кабри с соавторами (Cabri e. a., 1981) приводится краткое описание этого минерала из россыпей Эфиопии («unidentified rhodium-iron-nickel sulfides»). Позднее для этого минерала предлагается название «прассоит» («prassoite») — (Cabri, 1981), не утвержденное Комиссией по новым минералам ММА, но тем не менее цитируемое в литературе (Augé, 1988). Для «прассоита» предлагались формула $Rh_{17}S_{15}$ (Cabri, 1981) или $(Rh, Cu Ru)_3S_4$ (Augé, 1988). В дальнейшем близкий по составу сульфид родия ($Rh_{11}S_9$) отмечен Н. Д. Толстых и А. П. Кривенко (1994) в россыпях Северо-Востока России. Результаты ис-

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества РАН 21 апреля 1997 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 30 июня 1999 г.



Включение, состоящее из миассита (MS), купорродсита (CURH) и борнита (BORN) в изоферроплатине (IFP).
 Inclusion composed of miassite (MS), cuprorhodsite (CuRh) and bornite (BORN) within isoferroplatinum (IFP).

следований синтетических соединений в системе Rh—S показывают, что единственной фазой с отношением Rh/S ~ 1 является $Rh_{17}S_{15}$ (Taylor, 1981). Кристаллическая структура этого соединения расшифрована С. Геллером (Geller 1962), который показал его изоструктурность с $Pd_{17}Se_{15}$, известным в природе как минерал палладсеит (Davis e. a., 1977).

При изучении минералогии тяжелого шлиха из небольшой россыпи в верховьях реки Миасс (Урал) нами был встречен и изучен природный сульфид родия $Rh_{17}S_{15}$, изоструктурный палладсеиту и синтетическому $Rh_{17}S_{15}$. Новый минерал получил название миассит (miassite) по месту находки. Изучавшийся концентрат минералов (размер зерен 0.05—1.5 мм) представлен преобладающими хромитом и ильменитом (в сумме около 70 мас.%), минералами системы Ru—Os—Ir (~30 мас.%) и небольшим количеством (< 1 %) изоферроплатины. Миассит встречен в виде включений в зернах изоферроплатины, где ассоциирует с купорродситом, боуитом, василитом, куперитом, кейтконнитом и борнитом (см. рисунок). Размер включений обычно 10—30 мкм, в редких случаях до 100 мкм. Взаимоотношения минералов во включениях неопределенные, и какой-либо последовательности образования проследить не удалось. Наибольший размер обособлений миассита 70 × 100 мкм.

В отраженном свете миассит светло-серый, с легким голубоватым оттенком на фоне изоферроплатины. Изотропен. Внутренние рефлексии отсутствуют. Спектр от-

Таблица 1

Отражение (R, %) миассита
 Reflectance values (R, %) of miassite

λ, нм	R	λ, нм	R
420	37.6	580	39.1
440	38.0	600	39.0
460	38.3	620	38.7
480	38.6	640	38.6
500	39.0	660	38.8
520	38.9	680	38.6
540	39.0	700	38.4
560	39.1		

Таблица 2

Результаты расчета дебаграммы миассита
X-ray powder diffraction data for miassite

<i>hkl</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>I</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>I</i> _{выч} *	<i>hkl</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>I</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>I</i> _{выч} *
111			5.787	1	620			1.585	1
210			4.483	1	443	1.566	10	1.565	12
211			4.092	1	540			1.565	4
221	3.33	20	3.341	6	541			1.547	5
300			3.341	7	533			1.529	9
310	3.17	70	3.170	26	700			1.432	1
311	3.02	90	3.022	77	632			1.432	1
320			2.780	5	710	1.417	10	1.418	3
321	2.68	50	2.679	21	543			1.418	2
400	2.52	10	2.506	4	550			1.418	1
410	2.42	20	2.431	34	711			1.404	2
330	2.37	10	2.363	1	551			1.404	1
411			2.363	16	640			1.390	7
331	2.29	10	2.300	20	641			1.377	2
420	2.24	90	2.241	28	633			1.364	1
421			2.187	5	642			1.340	2
500			2.005	3	544			1.328	4
430			2.005	4	730			1.316	6
431			1.966	4	731	1.303	10	1.305	65
510			1.966	5	553			1.305	1
333	1.931	80	1.929	50	643			1.283	6
511			1.929	8	732			1.273	6
521			1.830	1	651			1.273	1
440	1.774	100	1.772	100	800			1.253	21
522			1.745	2	740			1.243	10
433			1.719	8	652			1.243	1
600	1.672	20	1.671	26	554			1.234	6
610			1.648	2	741			1.234	7
611			1.626	4	733			1.225	25
532			1.626	3	644	1.217	10	1.216	33

Примечание. * — интенсивности рассчитаны по структурным данным С. Геллера (Geller, 1962) с использованием программы PowderCell (Werner Kraus & Gert Nolze, BAM Berlin).

ражения (табл. 1) измерен в воздухе на автоматическом спектрофотометре МСФП (ЛОМО) с шагом измерения 20 нм. Число отсчетов для каждой длины волны 5 с последующим усреднением. В качестве эталона использован аттестованный на ЛОМО кремний. Твердость микровдавливания измерялась на микроскопе Neophot-2 (Carl Zeiss, Jena) при помощи объектива-микротвердомера с пирамидой Викерса. Среднее значение при нагрузке 10 г 730 кг/мм² при разбросе 724—736 кг/мм² для пяти измерений. Спайность или отдельность у минерала не наблюдаются.

Рентгенограмма порошка миассита получена методом Дебая—Шеррера в камере РКУ-114.6 мм, FeK α -излучение, с визуальной оценкой интенсивностей. Индексирование рентгенограммы и уточнение параметра элементарной ячейки проведено на основании структурных данных для синтетического Rh₁₇S₁₅ (Geller, 1962), пространственная группа *Pm3m*, с использованием программы PowderCell (Werner Kraus &

Таблица 3

Химический состав (мас. %) миассита
Chemical composition (wt %) of miassite

Компо- нент	Анализ					Средний
	1	2	3	4	5	
Ru	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.4
Rh	59.3	56.5	61.8	58.9	59.9	59.3
Pd	7.4	7.0	5.6	6.5	5.6	6.4
Os	0.0	0.3	0.4	0.6	0.3	0.3
Ir	0.3	0.0	0.4	0.7	1.0	0.5
Pt	8.8	11.0	5.8	3.4	5.2	6.8
Fe	1.1	0.8	1.3	1.8	2.0	1.4
Co	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ni	1.1	2.0	1.2	2.7	2.7	1.9
Cu	1.3	1.5	1.9	2.0	2.4	1.8
S	20.6	20.7	21.7	21.1	20.9	21.0
Se	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
As	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Сумма	99.9	99.8	100.1	99.5	100.0	99.8

Примечание. Условия анализа: ускоряющее напряжение 30 кВ, ток зонда 5 нА, эталоны для Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Fe, Co, Ni, Cu — чистые металлы, S — пирит, Se — PbSe, As — GaAs.

Таблица 4

Химический состав (мас. %) некоторых минералов, близких к миасситу
Chemical composition (wt %) of some minerals similar to miassite

Элемент	Анализ из работ						(Толстых, Кривенко, 1994)
	(Feather, 1976)				(Cabri e. a., 1981)		
	R12	R18	R19	R22	1	2	
Ru	8.5	4.5	3.8	5.6	—	—	1.49
Rh	65.7	54.9	71.7	53.2	29.9	30.1	64.04
Pd	—	—	—	—	—	—	—
Os	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	—	—	—
Ir	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	5.1	5.3	2.38
Pt	3.0	13.3	2.5	11.2	1.5	1.5	—
Fe	—	1.8	—	3.1	13.1	13.5	0.99
Co	—	—	—	—	1.2	1.1	—
Ni	4.7	0.5	0.2	0.4	11.5	10.9	6.14
Cu	—	—	—	—	5.6	5.5	1.49
S	19.3	18.7	18.5	19.5	31.1	30.9	20.63
Сумма	101.2	93.7	96.7	93.0	99.0	98.8	97.2
Формульные количества (32 атома на формульную единицу)							
Ru	1.90	1.12	0.91	1.36	—	—	0.33
Rh	14.39	13.44	16.80	12.72	5.07	5.13	13.84
Pd	—	—	—	—	—	—	—
Os	—	—	—	—	—	—	—
Ir	—	—	—	—	0.46	0.48	0.28

Таблица 4 (продолжение)

Элемент	Анализ из работ						(Толстых, Кривенко, 1994)
	(Feather, 1976)				(Cabri e. a., 1981)		
	R12	R18	R19	R22	1	2	
Pt	0.35	1.72	0.31	1.41	0.13	0.13	
Fe		0.81		1.37	4.09	4.24	0.39
Co					0.36	0.33	
Ni	1.80	0.21	0.08	0.17	3.42	3.26	2.33
Cu					1.54	1.52	0.52
Сумма катионов	18.44	17.30	18.10	17.03	15.07	15.09	17.69
S	13.56	14.69	13.91	14.97	16.93	16.91	14.31

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

Gert Nolze, BAM Berlin). Результаты расчета рентгенограммы приведены в табл. 2. По аналогии с палладсеитом и $Rh_{17}S_{15}$ для миассита принята пространственная группа $Pm\bar{3}m$. Параметр $a_0 = 10.024(5) \text{ \AA}$, $V_0 = 1007 \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Вычисленная плотность $D_{\text{расч}} = 7.42 \text{ г/см}^3$.

Химический состав (табл. 3) изучен на сканирующем электронном микроскопе CAMSCAN с энерго-дисперсионной приставкой LINK-AN10000. Расчет формулы производился исходя из 32 атомов на формульную единицу. Эмпирическая формула миассита (среднее из 5 анализов) имеет вид $(Rh_{12.99}Pd_{1.36}Pt_{0.79}Ni_{0.73}Cu_{0.64}Fe_{0.56}Ru_{0.09}Ir_{0.06}Os_{0.04})_{17.26}S_{14.76}$, что хорошо соответствует идеализированной формуле $Rh_{17}S_{15}$.

В табл. 4 приведены литературные данные по составу некоторых минеральных фаз, близких к миасситу. К сожалению, в цитируемых работах не приводятся данных по содержанию палладия, который может играть существенную роль в составе минерала, учитывая его изоструктурность с палладсеитом. Наиболее близки по стехиометрии к миасситу анализы, приведенные в работах (Feather, 1976, an. R18, R22; Толстых, Кривенко, 1994).

Эталонный образец миассита передан на хранение в Горный музей, Санкт-Петербургский горный институт (Технический университет).

Список литературы

- Толстых Н. Д., Кривенко А. П. О составе сульфидов, содержащих элементы платиновой группы // ЗВМО. 1994. № 2. С. 41—49.
- Augé T. Platinum-group minerals in the Tiebaghi and Vourinos ophiolite complexes: genetic implications // Canad. Miner. 1988. Vol. 26. P. 177—192.
- Cabri L. J., Criddle A. J., Laftamme J. H. G., Bearne G. S., Harris D. S. Mineralogical study of complex Pt-Fe nuggets from Ethiopia // Bull. Miner. 1981. Vol. 104. P. 508—525.
- Cabri L. J. (editor) Platinum-group elements: mineralogy, geology, recovery // The Canadian Institute of Mining and Metallurgy. Special issue. 1981. Vol. 23. 267 P.
- Davis R. J., Clark A. M., Criddle A. J. Palladseite, a new mineral from Itabira, Minas Gerais, Brazil // Miner. Mag. 1977. Vol. 41. P. 123.
- Feather C. E. Mineralogy of platinum-group minerals in the Witwatersrand, South Africa // Econ. Geol. 1976. Vol. 71. P. 1399—1428.
- Geller S. The crystal structure of the superconductor $Rh_{17}S_{15}$ // Acta Crystallogr. 1962. Vol. 15. P. 1198—1201.
- Kingston G. A. Mineralogy and mode of occurrence of platinum and associated minerals in the Merensky Reef of the western Bushveld // Ph. D. Thesis, 1977. University of London.
- Taylor J. R. A Knudsen cell study of molten sulfides: thermodynamics of the rhodium—sulfur system // Metall. Trans. 1981. Vol. 12B(1). P. 47—54.

Поступила в редакцию
20 ноября 2000 г.