

## МАЛЫШЕВИТ $\text{PdBiCuS}_3^*$ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СРЕДНЯЯ ПАДМА В ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

А.А. Черников

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, Москва, cher@fmm.ru

Н.И. Чистякова

Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья, Москва, vims@df.ru

О.М. Уваркина

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, Москва, mineral@fmm.ru

В.Т. Дубинчук, В.А. Рассулов

Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья, Москва, vims@df.ru

Ю.С. Полеховский

Санкт-Петербургский государственный университет, геологический ф-т, Санкт-Петербург, yury1947@mail.ru

Малышевит обнаружен в роскоэлит-хромселадонит-доломитовом прожилке с селенидной и благороднометаллической минерализацией уран-ванадиевого месторождения Средняя Падма в Южной Карелии. Новый минерал находится в ассоциации с клаусталитом, падмаитом, мончеитом, фрудитом, настураном (урановой смолкой), гидратированным настураном, гематитом, богдановичитом, соболевскитом, инсизваитом, поляритом, судовиковитом, самородными висмутом и золотом, образуя каемочные и неправильной формы выделения по клаусталиту и кварцу, замещающая падмаит. Минерал свинцово-серый, блеск металлический, твердость по Моосу 3. В отраженном свете белый, анизотропия в светло-желтых тонах от умеренной до сильной. Коэффициенты отражения, max/min %: 34.1/28.7 – 470 nm (СОМ); 36.3/33.0 – 546 nm (СОМ); 37.0/34.4 – 589 nm (СОМ); 37.4/34.6 – 650 nm (СОМ). Химический состав (7 микрозондовых анализов, мас. %): Pd 19.5–21.5; Pt 0.6–1.1; Pb 0.4–1.7; Bi 42.8–42.5; Cu 12.8–13.3; Se 1.5–2.8; S 18.7–19.4. Средняя эмпирическая формула  $(\text{Pd}_{0.94}\text{Pt}_{0.02}\text{Pb}_{0.02})_{0.98}\text{Bi}_{0.99}\text{Cu}_{1.00}(\text{S}_{2.88}\text{Se}_{0.14})_{3.02}$ . Идеализированная формула –  $\text{PdBiCu}(\text{Se},\text{S})_3$ . Ромб. синг., пр. группа Pnam,  $a$  7.541(3),  $b$  6.4823(3),  $c$  11.522(3) Å.  $V = 563.204(9.0)$  Å<sup>3</sup>.  $Z = 4$ . Наиболее сильные линии рентгеновской порошковой дифракции,  $d - I(hkl)$ : 3.24 – 4(020); 2.88 – 8(004); 2.52 – 6(300); 1.900 – 10(304); 1.715 – 2(206); 1.672 – 2(225). Препарат с малышевитом хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН (Москва), инв. номер ФММ# 3356/1.

В статье 3 таблицы, 1 рисунок, список литературы из 17 названий

Малышевит, палладий-висмут-медный трисульфид  $\text{PdCuBiS}_3$ , обнаружен в роскоэлит-хромселадонит-доломитовом прожилке (мощность 5–10 см) с селенидной и благороднометаллической минерализацией уран-ванадиевого месторождения Средняя Падма, Заонежский полуостров, Южная Карелия. Месторождение Средняя Падма является типичным представителем объектов онежского типа – крупных по запасам ванадия комплексных руд с большим набором полезных компонентов (V, Pd, Pt, Au, Ag, U, Mo, Cu, Bi и др.). Онежские месторождения связаны с рифтогенной впадиной, расположенной в юго-восточной части Балтийского щита (Билибина и др., 1991; Мельников и др., 1992, 1993, 1995; Волков и др., 1997; Полуэктов и др., 1998; Черников и др., 2000; Черников, 2001). Они характеризуются развитием гидротермально-метасоматической минерализации, современной приповерхностной и древней глубинной зон окисления, а также соответственно минерализации древней и современной зон цементации. Рассматриваемый прожилок относится, по представлениям большинства исследователей, к гидротермальным минеральным образованиям.

Селенидная и благороднометаллическая минерализация роскоэлит-хромселадонитового прожилка из месторождения Средняя Падма описывалась неоднократно (Полеховский и др., 1990; 1991, 1997). В этом прожилке впервые обнаружены благороднометаллические минералы – падмаит и судовиковит (Полеховский и др., 1991; 1997).

Малышевит в прожилке находится в ассоциации с клаусталитом, падмаитом, мончеитом, фрудитом, настураном (урановой смолкой), гидратированным настураном, гематитом, богдановичитом, соболевскитом, инсизваитом, поляритом, судовиковитом, самородными висмутом и золотом, роскоэлитом, хромселадонитом, доломитом.

Новый минерал образует каемочные и неправильной формы выделения размером от 1 до 20 мкм по клаусталиту и кварцу, замещающая падмаит (рис. 1). На рис. 1b отчетливо видна неоднородность состава урановых оксидов, сложенных настураном (урановой смолкой) и гидратированным настураном.

Цвет малышевита свинцово-серый, черта серая, блеск металлический, излом неровный. Диагностируется по цвету трудно из-за малого

\* Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) 4 мая 2006 года

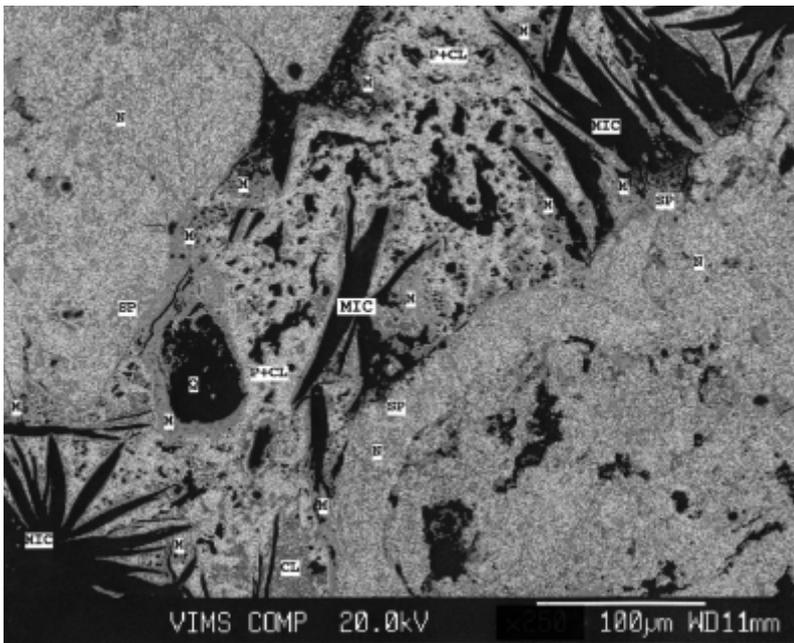
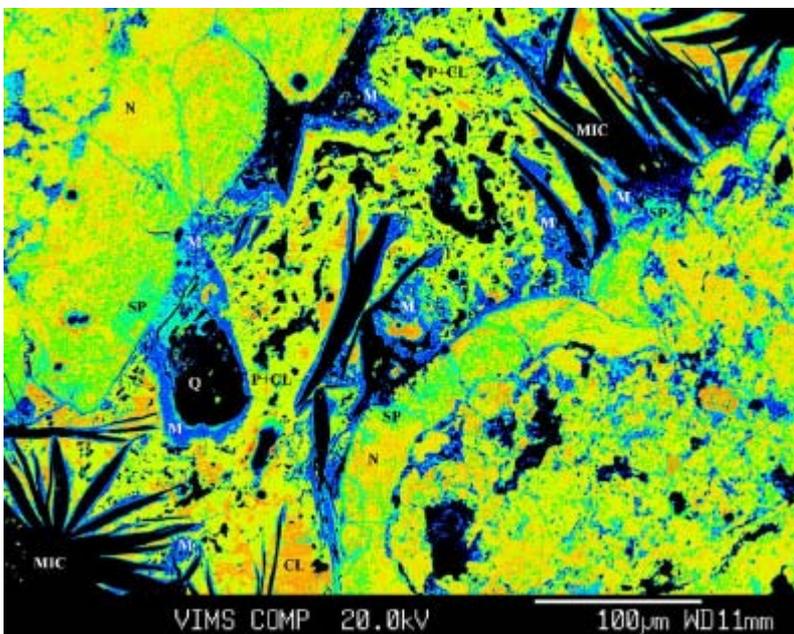


Рис. 1. Каемочное и гнездообразное выделение мальшевита ( $M$ ) вокруг кварца ( $Q$ ) и ванадиевой слюды ( $V$ ),  $MIC$  – измененный гидратированный настуран (гидратированная урановая смола);  $N$  – настуран (урановая смола);  $P$  – пирит,  $CL$  – клаустолит:  $a$  – снимок в отраженном свете;  $b$  – снимок в отраженных электронах



размера выделений минерала. Твердость по Моосу 3.

В отраженном свете минерал белый (рис. 1а). Анизотропия изменяется от умеренной до сильной в светло-желтых тонах. Плеохроизм двуотражения:  $R_{\max}$  – светло-желтый,  $R_{\min}$  – бледно-желтый. Коэффициенты отражения, измеренные на воздухе (эталон Si) для разных длин волн, приведены в таблице 1.

Химический состав мальшевита, установленный локальным методом спектрального анализа, приведен в таблице 2. По содержанию основных компонентов и элементов-примесей минерал характеризуется высокой степенью однородности. Эмпирическая формула мальшевита при расчете на  $\text{Cu} = 1.00$  приобретает следующий вид:

Таблица 1. Коэффициенты отражения мальшевиты, max/min %

39.3/29.6	400nm	36.5/33.5	560nm
33.8/26.9	420nm	37.0/34.3	580nm
32.9/26.6	440nm	37.0/34.4	589nm(COM)
33.5/28.3	460nm	36.8/34.6	600nm
34.1/28.7	470nm(COM)	36.9/34.3	620nm
34.9/29.7	480nm	37.4/34.5	640nm
35.4/31.4	500nm	37.434.6	650nm(COM)
35.4/32.5	520nm	37.6/34.8	660nm
36.4/33.5	540nm	37.4/34.6	680nm
36.3/33.0	546nm(COM)	37.4/34.7	700nm

Таблица 2. Химический состав мальшевиты, мас. %

№№	Pd	Pt	Pb	Bi	Cu	Se	S	Сумма
1	21.5	1.0	0.5	42.6	13.2	2.3	19.0	100.1
2	19.5	1.1	1.7	42.5	12.8	2.8	18.7	99.1
3	20.2	1.1	1.4	42.5	13.0	1.5	19.1	98.8
4	20.4	0.9	0.4	42.7	12.9	2.8	18.8	98.9
5	20.3	1.0	0.4	42.8	13.1	2.4	18.9	98.9
6	21.1	0.7	0.9	42.8	13.3	1.7	19.4	99.9
7	21.5	0.6	0.5	42.6	13.2	2.0	19.3	99.7
Ср.	20.6	1.0	0.8	42.6	13.1	2.2	19.0	99.3

Примечание: химический состав минерала изучался на электронном микроанализаторе JXA-8100 японской фирмы JEOL при ускоряющем напряжении 20 КЭВ и токе зонда 20 нА. В качестве аналитических использовались линии PdLa, PtLa, PbLa, BiLa, CuKa, SKa, SeLa. В качестве образцов сравнения (эталон) служили металлы Pt, Pd и природные минералы, известного состава: галенит (на Pb и S), бурнонит (на Cu), синтетический клаустолит (на Bi и Se). Среднеквадратичная ошибка: Pd 0.7530; Pt 0.1957; Pb 0.5291; Bi 0.1353; Cu 0.1625; S 0.2793; Se 0.5079

Таблица 3. Результаты расчета дебаеграммы мальшевиты, Å

l	d <sub>изм.</sub>	d <sub>выч.</sub>	hkl
1	3.77	3.77	200
4	3.24	3.24	020
8	2.88	2.88	004
6	2.52	2.51	300
1	2.44	2.46	220, 301
1	2.08	2.09	115
1	2.03	2.02	032
10	1.900	1.894	304
1	1.783	1.783	232
2	1.715	1.711	206
2	1.672	1.681	225
1	1.403	1.404	503
1	1.199	1.199	252
1	1.131	1.130	444
1	1.006	1.010	541

Примечание: Дрон-2, РКД-57.3; FeKa, Мп-фильтр. Использование камеры с диаметром 57.3 мм было продиктовано незначительным количеством вещества

1.  $(Pd_{0.97}Pt_{0.02}Pb_{0.01})_{1.00}Bi_{0.98}Cu_{1.00}(S_{2.85}Se_{0.14})_{2.99}$ ;
2.  $(Pd_{0.91}Pt_{0.03}Pb_{0.04})_{0.98}Bi_{1.01}Cu_{1.00}(S_{2.89}Se_{0.17})_{3.06}$ ;
3.  $(Pd_{0.93}Pt_{0.03}Pb_{0.03})_{0.99}Bi_{0.99}Cu_{1.00}(S_{2.91}Se_{0.09})_{3.00}$ ;
4.  $(Pd_{0.97}Pt_{0.02}Pb_{0.01})_{1.00}Bi_{1.01}Cu_{1.00}(S_{2.89}Se_{0.17})_{3.06}$ ;
5.  $(Pd_{0.93}Pt_{0.02}Pb_{0.01})_{0.96}Bi_{0.99}Cu_{1.00}(Se_{2.86}S_{0.15})_{3.01}$ ;
6.  $(Pd_{0.95}Pt_{0.02}Pb_{0.02})_{2.99}Bi_{0.98}Cu_{1.00}(S_{2.89}Se_{0.10})_{2.99}$ ;
7.  $(Pd_{0.97}Pt_{0.01}Pb_{0.01})_{0.99}Bi_{0.98}Cu_{1.00}(S_{2.90}Se_{0.12})_{3.02}$ ;

Средняя:

$(Pd_{0.94}Pt_{0.02}Pb_{0.02})_{0.98}Bi_{0.98}Cu_{1.00}(S_{2.87}Se_{0.13})_{3.00}$ . При расчете эмпирической формулы на базе 6 атомов на формульную единицу получаем:  $(Pd_{0.94}Pt_{0.02}Pb_{0.02})_{0.98}Bi_{0.99}Cu_{1.00}(S_{2.88}Se_{0.14})_{3.02}$ . Она сопоставляется с формулой айкинита и суучекита  $PbBiCu(S,Se)_3$  (Cech and Vavrin, 1979). В мальшевите место Pb занимает Pd. Идеальная упрощенная формула минерала  $PdBiCuS_3$  содержит (мас. %) Pd 22.40; Cu 13.38; Bi 43.98; S 20.24; сумма 100.00. Однако ввиду того, что ион палладия по размеру ближе к никелю, структурно мальшевит должен бы являться аналогом мюкеита группы лапидита (Harris *et al.*, 1984; Schnogger-Köhler *et al.*, 1989), на что указал г. Ив Моело (Yves Moelo) — специалист по сульфосолям из Амстердамского государственного университета, Нидерланды, хотя никель не обнаружен в минерале при пороге чувствительности 0.05% Ni и мюкеит имеет отличную пространственную группу  $P2_12_1$ .

Мальшевит имеет ромбическую сингонию. Пространственная группа  $P_{\text{нам}}$  — та же, что и у суучекита и айкинита. Параметры элементарной ячейки мальшевиты определялись с помощью микродифракции по традиционной методике (Грицаенко и др., 1969):  $a$  7.541(3)Å,  $b$  6.482 (3)Å,  $c$  11.522(3)Å.  $V$  563.204 (9.0)Å<sup>3</sup>.  $Z=4$ . Различия в величинах параметров элементарной ячейки суучекита, айкинита и мальшевиты связаны с изменением их химического состава. Вычисленная плотность мальшевиты соответствует 6.025 г/см<sup>3</sup>. Результаты расчета порошкограммы приведены в таблице 3.

Название минерала — мальшевит (malyshevite) дано в память о выдающихся российских геологах, бывших сотрудниках ВИМСа, докторов геолого-минералогических наук отце и сыне, министре геологии СССР в 1946–1949 гг. И.И. Мальшеве (1904–1973) и профессоре, академике Международной академии минеральных ресурсов В.И. Мальшеве (1927–2002). И.И. Мальшев — первооткрыватель Самогканского титанового месторождения на Урале — внес крупный вклад в учение о титановых месторождениях (Мальшев, 1957) и оказал существенное влияние на выбор научной деятельности В.И. Мальшева: изучение радиоактивных и стабильных изотопов в минералах и рудах.

Эталонный образец мальшевита хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН в Москве, инв. номер ФММ# 3356/1.

Авторы выражают благодарность научным сотрудникам Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН Л.А. Паутову, Д.И. Белаковскому и А.А. Агаханову за помощь и полезные советы, которые помогли в процессе подготовки рукописи к публикации.

Особую благодарность выносим директору Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана М.И. Новгородовой за всестороннее содействие в проведении работы по изучению мальшевита и Ф.У. Бурке из Амстердамского государственного университета, Нидерланды (Faculty of Earth & Life Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, Netherlands, Chairman CNMNMN), за замечания и советы, которые учтены в представленном варианте статьи.

## Литература

- Билибина Т.М., Мельников Е.К., Савицкий А.В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. **1991**. Т. 33. № 6. С. 3-13.
- Волков В.Н., Полеховский Ю.С., Сергеев А.С., Тарасова И.П. Введение в металлогению горючих ископаемых и углеродсодержащих пород. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский Государственный университет. **1997**. 245 с.
- Грицаенко Г.С., Звягин Б.Б., Боярская Р.В. и др. Методы электронной микроскопии минералов. М.: Наука. **1969**. 312 с.
- Мальшев И.И. Закономерности образования и размещения месторождений титановых руд. М.: Гос. н-т. из-во литературы по геологии и охране руд. **1957**. 272 с.
- Мельников Е.К., Петров Ю.В., Савицкий А.В. Новый район с месторождениями богатых комплексных руд в Южной Карелии // Разведка и охрана недр. **1992**. № 5. С. 15-19.
- Мельников Е.К., Петров Ю.В., Рябухин В.Т., Савицкий А.В. Онежский рудный район с уран-золото-платинометалльно-ванадиевыми месторождениями // Разведка и охрана недр. **1993**. № 8. С. 31-36.
- Мельников Е.К., Шумилин М.В. О возможной модели образования уран-ванадиевых месторождений // Геология и разведка. **1995**. № 6. С. 31-37.
- Полеховский Ю.С., Волошин А.В. Новые природные системы платиноидов в метасоматитах Южной Карелии // ДАН СССР. **1990**. Т. 315. Т. 3. С. 15-20.
- Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П. и др. Падмаит PdBiSe – новый селенид палладия и висмута из метасоматитов Южной Карелии // ЗВМО. **1991**, № 3. С. 85-88.
- Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П. и др. Новый тип палладийсодержащей минерализации в метасоматитах Карелии // Изв. АН СССР. Сер. Геол. **1991**, Т. 7. С. 86-95.
- Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П. и др. Падмаит PdBiSe – новый селенид палладия и висмута из метасоматитов Южной Карелии // ЗВМО. **1991**. Т. 3. С. 85-88.
- Полеховский Ю.С., Тарасова И.П.; Ненстеров А.Р. и др. Судовиковит PtSe<sub>2</sub> – новый селенид платины из метасоматитов Южной Карелии // ДАН. **1997**. Т. 354, № 1. С. 82-85.
- Полуэктов В.В., Черников А.А., Рыжов Б.И. Особенности формирования минеральных ассоциаций крупных комплексных (V, Pd, Pt, Au, U) месторождений Онежского прогиба Балтийского щита // В кн.: Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. Санкт-Петербург. **1998**. С. 240-246.
- Черников А.А., Хитров В.Г., Белоусов Г.Е. Роль углеродистого вещества в формировании крупных полигенных комплексных месторождений онежского типа. Петрозаводск: КНЦ РАН. **2000**. // В кн.: Углеродсодержащие формации в геологической истории. С. 194-199.
- Черников А.А. Соотношение процессов коры выветривания и гипогенных факторов при формировании комплексных месторождений Онежского типа // В кн.: Глубинный гипергенез, минерало- и рудообразование. М.: Минералогический музей им. А.Е.Ферсмана РАН. **2001**. С. 48-60.
- Cech F. and Vavrin I. Soucekite, CuPbBi(S,Se)<sub>3</sub>, a new mineral of the bourmonite group // Neues Jahrb. Mineral. Monatsh. **1979**. P. 289-295.
- Harris D.C., Roberts A.C., Thorpe R.I., Jonasson I.R., Criddle A.J. Lapieite CuNiSbS<sub>3</sub>, a new mineral species from the Yukon Territory // Canadian Mineralogist. **1984**. 22. Part 4. P. 561-564.
- Schnorrer-Köhler G., Neumann U., Doering Th. Muckeite, CuNiBiS<sub>3</sub>, a new ore mineral from the Grune Au mine, Schutzbach/Sigerland // Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte. **1989**. Bd. 161. H. 5. P. 193-200.