РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ им. А.Е. ФЕРСМАНА

# ВЫПУСК 41

# Новые данные о минералах

ИЗДАНИЕ ОСНОВАНО В 1907 г.

МОСКВА ИЗДАТЕЛЬСТВО "ЭКОСТ" 2006



# МАЛЫШЕВИТ PdBiCuS<sub>3</sub>\* – 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, Mocква, 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, Mocква, vims@df.ru

### Ю.С. Полеховский

Санкт-Петербургский государственный университет, геологический ф-т, Санкт-Петербург, уигу1947@mail.ru Малышевит обнаружен в роскоэлит-хромселадонит-доломитовом прожилке с селенидной и благороднометальной 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 клаустолиту и кварцу, замещая падмаит. Минерал свинцово-серый, блеск металлический, твердость по Моосу 3. В отраженном свете белый, анизотропия в светло-желтых тонах от умеренной до сильной. Коэфициенты отражения, max/min %: 34.1/28.7 - 470 nm (COM); 36.3/33.0 - 546 nm (COM); 37.0/34.4 — 589 nm (COM); 37.4/34.6 — 650 nm (COM). 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  $(Pd_{0.94}Pt_{0.02}Pb_{0.02})_{0.98}Bi_{0.99}Cu_{1.00}(S_{2.88}Se_{0.14})_{3.02}$ . Идеализированная формула РdBiCu(Se,S)<sub>3</sub>. Ромб.синг., пр.группа Рпат, а 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 порошкограммы, 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 PdCuBiS<sub>31</sub> обнаружен в роскоэлит-хромселадонит-доломитовом прожилке (мощность 5-10 см) с селенидной и благороднометальной 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, Ві 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 благороднометальная минерализация роскоэлит-хромселадонитового прожилка из месторождения Средняя Падма описывалась неоднократно (Полеховский и др., 1990; 1991, 1997). В этом прожилке впервые обнаружены благороднометальные минералы — падмаит и судовиковит (Полеховский и др., 1991<sub>1</sub>; 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, замещая падмаит (*puc. 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 малышевита (М) вокруг кварца (Q) и ванадиевой слюды (MIC), SP – измененный гидратированный настуран (гидратированная урановая смолка); N – настуран (урановая смолка); P – падмаит, Cl – клаустолит: а – снимок в отраженном свете; b – снимок в отраженных электронах



размера выделений минерала. Твердость по Moocy 3.

В отраженном свете минерал белый (*рис.* 1*a*). Анизотропия изменяется от умеренной до сильной в светло-желтых тонах. Плеохроизм двуотражения: R<sub>max</sub> — светло-желтый, R<sub>min</sub> бледно-желтый. Коэффициенты отражения, измеренные на воздухе (эталон Si) для разных длин волн, приведены в таблице 1. Химический состав малышевита, установленный локальным методом спектрального анализа, приведен в таблице 2. По содержанию основных компонентов и элементов-примесей минерал характеризуется высокой степенью однородности. Эмпирическая формула малышевита при расчете на Cu=1.00 приобретает следующий вид:

Таблица 1. Коэффициенты отражения малышевита, 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 малышевита, мас.%

N⁰N⁰	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
Cp.	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 JEO4 при ускоряющем напряжении 20 КЭВ и токе зонда 20 кА. В качестве аналитических использовались линии PdLa, PtLa, PbLa, BiLa, CuKa, SKa, SeLa. В качестве образцов сравнения (эталонов) 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 малышевита, Å

I	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  $\begin{array}{l} 1. \ (Pd_{0.97}Pt_{0.02}Pb_{0.01})_{1.00}Bi_{0.98}Cu_{1.00}(S_{2.85}Se_{0.14})_{2.99};\\ 2. \ (Pd_{0.91}Pt_{0.03}Pb_{0.04})_{0.98}Bi_{1.01}Cu_{1.00}(S_{2.89}Se_{0.17})_{3.06};\\ 3. \ (Pd_{0.93}Pt_{0.03}Pb_{0.03})_{0.99}Bi_{0.99}Cu_{1.00}(S_{2.91}Se_{0.09})_{3.00};\\ 4. \ (Pd_{0.97}Pt_{0.02}Pb_{0.01})_{1.00}Bi_{1.01}Cu_{1.00}(S_{2.89}Se_{0.17})_{3.06};\\ 5. \ (Pd_{0.93}Pt_{0.02}Pb_{0.01})_{0.96}Bi_{0.99}Cu_{1.00}(Se_{2.88}S_{0.15})_{3.01};\\ 6. \ (Pd_{0.95}Pt_{0.02}Pb_{0.02})_{2.99}Bi_{0.98}Cu_{1.00}(S_{2.89}Se_{0.10})_{2.99};\\ 7. \ (Pd_{0.97}Pt_{0.01}Pb_{0.01})_{0.99}Bi_{0.98}Cu_{1.00}(S_{2.99}Se_{0.12})_{3.02};\\ \end{array}$ 

Средняя:

(Pd<sub>0.94</sub>Pt<sub>0.02</sub>Pb<sub>0.02</sub>)<sub>0.98</sub>Bi<sub>0.98</sub>Cu<sub>1.00</sub>(S<sub>2.87</sub>Se<sub>0.13</sub>)<sub>3.00</sub>. При расчете эмпирической формулы на базе 6 атомов на формульную единицу получаем: (Pd<sub>0.94</sub>Pt<sub>0.02</sub>Pb<sub>0.02</sub>)<sub>0.98</sub>Bi<sub>0.99</sub>Cu<sub>1.00</sub>(S<sub>2.88</sub>Se<sub>0.14</sub>)<sub>3.02</sub>. Она сопоставляется с формулой айкинита и соучекита PbBiCu(S,Se)<sub>3</sub> (Cech and Vavrin, 1979). В малышевите место Pb занимает Pd. Илеальная упрощенная формула минерала PdBiCuS<sub>3</sub> 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 малышевит должен бы являться аналогом мюкеита группы лапиита (Harris et al., 1984; Schnorrer-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 Р2,2,2,.

Малышевит имеет ромбическую сингонию. Пространственная группа Р<sub>пат</sub> — та же, что и у соучекита и айкинита. Параметры элементарной ячейки малышевита определялись с помощью микродифракции по традиционной методике (Грицаенко и др., 1969): *а* 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 соучекита, айкинита и малышевита связаны с изменением их химического состава. Вычисленная плотность малышевита соответствует 6.025 г/см<sup>3</sup>. Результаты расчета порошкограммы приведены в таблице 3.

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

Эталонный образец малышевита 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 малышевита 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 CNMMN), 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.
- Малышев 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-платинометально-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 метасома-

титах 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**<sub>1</sub>. № 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**<sub>2</sub>. Т 7. С. 86-95.
- Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П. и gp. 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 gp. 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 bournonite 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 fur Mineralogie, Monatshefte. **1989**. Bd. 161. H. 5. P. 193-200.