



Находка герценбергита в гранитном миароловом пегматите Вез-Дара на Юго-Западном Памире (Таджикистан)

Паутов Л.А.¹, Мираков М.А.^{2,3}, Шодибеков М.А.², Хворов П.В.⁴

¹Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pla58@mail.ru

²Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, Душанбе

³Главное управление геологии при правительстве Республики Таджикистан, РГУП геологоразведочная экспедиция по драгоценным и поделочным камням, Душанбе,

⁴Институт Минералогии УрО РАН, Миасс

Герценбергит SnS встречен в околوميароловом комплексе гранитного олигоклаз-микроклинового типа пегматита Вез-Дара (жила 86) (Ю-3 Памир, Таджикистан) в среднезернистой калишпат-кварцевой породе. Второстепенные минералы: биотит, шерл (графика с кварцем), гранат ряда спессартин – альмандин, альбит. Образуется неправильные агрегаты, короткие прожилки до 5 мм, сложенные пластинчатыми зернами 40–80 × 10–25 мкм, замещенные «варламовитом», в сростании с гетитом, цирконом, черчитом-(Y), Sc-содержащим Mn-танталониобатом. Цв. стально-серый (свежий скол), темно-серый (выветрелая поверхность). В отраженном свете белый: $R_g = 49.9$, $R_p = 43.5\%$ (560 нм). Двухотражение слабое (воздух), отчетливое (в иммерсии). Анизотропия с цветными эффектами на воздухе сильная, в иммерсии – очень сильная. Микротвердость 79–86 кгс/мм² (нагрузка 20 г). Приведена порошкограмма. Параметры ячейки $a = 4.331(2)$, $b = 11.195(3)$, $c = 3.983(2)$ Å. Хим. состав (микрзонд, вес.%): Sn 77.86–79.01; S 20.96–21.45. Pb, Cu, Sb, Fe ниже предела обнаружения. Формула $\text{Sn}_{0.99-1.02}\text{S}_{1.00}$.

Предполагается прямая кристаллизация в восстановительных условиях из обогащенного Sn⁺² кислого раствора на низкотемпературном гидротермальном этапе становления пегматита. Частичное замещение «варламовитом» агрегатом может быть обусловлено как неустойчивостью SnS при увеличении pH растворов на гипогенном этапе, так и результатом гипергенного окисления. Является первой находкой в Таджикистане.

Ключевые слова: герценбергит, миароловый пегматит, Юго-Западный Памир, Таджикистан, Вез-Дара, «варламовит».

Введение

Природный сульфид олова SnS был назван герценбергитом по имени латвийско-германского химика Роберта Герценберга (1885–1956), описавшего минерал в 1932 г. в жиле Мария-Тереза месторождения Оруро, Боливия, в ассоциации с кварцем, пиритом, сфалеритом, арсенопиритом, стanniном, халькопиритом (Ramdohr, 1935). Кристаллическая структура синтетического SnS неоднократно изучалась (Hofmann, 1935; Wiedemeier, 1978) и была позднее уточнена до фактора $R=0.041$ (Bucchia, 1981). Структура герценбергита (ромбического SnS) может быть описана как слоистая, со

слоями из искаженных Sn-S-октаэдров, параллельными плоскости (100), связанными слабыми связями Sn-S --- Sn и Sn --- Sn (Bucchia, 1981). Особенности кристаллической структуры хорошо согласуются с физическими свойствами герценбергита: низкой твердостью, сильной оптической анизотропией, пластинчатым характером выделений. Изучению фазовых соотношений в системе PbS-SnS и в частности вопросу возможности существования непрерывного ряда твердых растворов от PbSnS₂ (тиллита) до SnS (герценбергита) посвящен ряд работ (Chang and Brice, 1971; Dråbek and Stemprok, 1974; Некрасов, 1976; Hayashi e.a., 2001,

и др.). Особенности локальной структуры твердого раствора $Pb_xSn_{1-x}S$ изучены методом EXAFS-спектроскопии, показавшей проявление сильного ближнего порядка в расположении атомов металлов фазы $Pb_{0.5}Sn_{0.5}S$ (ромб. с.), что может приводить к образованию сверхструктур (Лебедев и др., 2002). Условия синтеза герценбергита в гидротермальных низкотемпературных условиях изучались Г.Р. Колониным и Е.А. Кирилловой (1976). В последние десятилетия возрос интерес к синтетическому герценбергиту как к потенциальному материалу для создания тонкопленочных солнечных батарей, фотодетекторов, оптоэлектронных устройств для хранения данных, материалов для голографических технологий (Ali e.a., 2017).

Герценбергит – относительно редкий минерал, описанный или упомянутый в ряде Sn-полиметаллических, касситерит-силикатных месторождений (Индолев и др., 1964; Некрасов, 1976; Сирин и др., 1982; Столяров и др., 1987; Чистякова и Столяров, 1990; Ramdohr, 1935; Aoki, 1971; Sugaki and Kitakaze, 1988; Burke, Zakrzewski, 1990; Ohta, 1991; Yajima e.a., 1991; Cook e.a., 1998; Peng e.a., 1999; Petrov e.a., 2001; Pašava e.a., 2003 и др.). Находки герценбергита в гранитных пегматитах единичны (Smets, 1993; Škoda, Čorjaková, 2005, 2006; Novák e.a., 2011; Čorjaková e.a., 2013). Также известны его находки в Au-Pt-россыпи Баймка на Западной Чукотке с самородным оловом, касситеритом, сороситом (Barkov e.a., 1998, 2006). Герценбергит указывается как продукт коррозии оловянных изделий с корабля пирата Черной Бороды «Месть королевы Анны», потопленного в 1718 г. у города Бофорга, Северная Каролина (Dunkle e.a., 2003).

Нами герценбергит диагностирован в образцах из миаролового гранитного пегматита Вез-Дара, Юго-Западный Памир, Таджикистан, собранных авторами при полевых работах в 2016 г.

Место находки

Вез-Даринская жила (она же жила № 86) находится в правом борту долины реки Вез-Дара (левый приток реки Шахдара) в 11 км от устья (рис. 1а). В административном отношении район расположен в пределах Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан. Пегматитовая жила обнажается на левом склоне с крутизной 45–70° ущелья Лавинного (правого притока р. Вез-Дара) на высоте 4700 м (рис. 1б, в). Впервые Вез-Даринская жила была обнаружена в 1943 г. Д.А. Великославским при поисковых работах на пьезокварц. В последующие годы на пегматите неоднократно проводились работы по оценке его как проявления цветного и полихромного турмалина.

Миароловые пегматиты Юго-Западного Памира, включая Вез-Даринскую жилу, относят к малоглубинным (1.5–3 км) пегматитам (Коноваленко, 2009).

Их возникновение связывают со становлением мел-палеогеновых стресс-гранитов памиро-шугнанского комплекса, хотя пространственной связи этих пегматитов с каким-либо гранитами вообще не обнаруживается (Владимиров, 1992; Коноваленко, 2006, 2009). Возраст миароловых пегматитов по трекам от осколков деления урана в апатите $3.2-7.5 \pm 0,5$ млн лет, что близко к возрасту становления гранитов памиро-шугнанского комплекса (Коноваленко, 2006). Пегматиты залегают в докембрийских породах хороговской свиты ваханской серии, представленных роговообманковыми, биотит-роговообманковыми гнейсами с редкими прослоями гранат-биотитовых гнейсов и мраморов.



Рис. 1. Вид долины реки Вез-Дара и пегматитовой жилы. а) – вид верховьев реки Вез-Дара. На горизонте на правом борту виден ледник и скальный выход, в котором расположена пегматитовая жила, б) – вид на ущелье Лавинное, в левом борту которого обнажается пегматитовая жила Вез-Дара, в) – Вез-Даринская пегматитовая жила и выше ее пласт мраморов (светлое) в гнейсах. Фото Л.А. Паутова

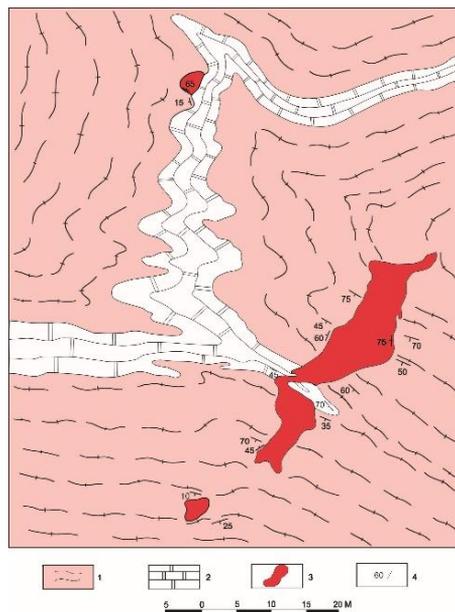


Рис. 2. Схема геологического строения участка Вез-Даринской жилы (Эфрос и др., 1971).

Условные обозначения: 1 - роговообманковые, биотит-роговообманковые гнейсы, 2 - мрамора, 3 - пегматитовая жила, 4 - элементы залегания.

Вез-Даринская жила (рис. 2) представляет собой уплощенное трубообразное тело, падающее на С-С-В в среднем под углом 55° , протяженностью около 70 м и имеющее изменчивую мощность от 2 до 8–9 м (Эфрос и др., 1971). Пегматит не зонален, что трактуется как становление жилы в неспокойной тектонической обстановке. Характерной чертой Вез-Даринской жилы является наличие в ней закономерно распределенных многочисленных занорышей размерами до 30 см в поперечнике, редко до 50 см, с кристаллами ортоклаза, дымчатого кварца, цветного и полихромного турмалина, данбурита, лепидолита. По составу пегматит относится к олигоклаз-микроклиновому типу. Второстепенные минералы представлены биотитом, который спорадически образует лейсты до 25 см длиной, шерлом, как в одиночных кристаллах, так и образующим очень характерные для данного пегматита графические сростания с кварцем, гранатом спессартин-альмандинового ряда, сахаровидным и мелкопластинчатым альбитом. Список аксессуарных минералов довольно большой: флюорит, полилитионит, боромусковит, берилл, топаз, фторпатит, галит, гетит, циркон, торит, манганколумбит, стибикоколумбит, микролит, иксиолит, касситерит, W-содержащий пирохоор, гюбнерит, корагоит, гамбергит, еремеевит, поллудит, тетравикманит, виитаньемиит, арсенопирит, галенит, антимонит, гипс, графит (Коноваленко и др., 1984; Волошин и др., 1997; Коноваленко, 2005, 2006, 2009, 2015), анатаз, ксенотим, черчит-(Y).

Более подробные сведения о Вез-Даринской жиле и ее минералогии можно почерпнуть из многочисленных работ С.И. Коноваленко (2005, 2006, 2009, 2015).

Описание герценбергита

Герценбергит встречается в виде агрегатов неправильной формы и коротких прожилков, размерами в наибольшем измерении до 5 мм, замещенных в различной степени «варламовитом» (рис. 3), в сред-незернистой калишпат-кварцевой породе из околомиаролового комплекса пегматита. В сростании с герценбергитом, кроме продуктов его замещения, отмечены гетит, циркон $(Zr_{0.82}Hf_{0.08}Y_{0.06}Sc_{0.04}U_{0.01})_{1.02}Si_{1.01}O_4$, черчит-(Y) $(Y_{0.76}Yb_{0.06}Th_{0.03}Dy_{0.02}Gd_{0.01}Mn_{0.01}Fe_{0.01}Sc_{0.01}Ca_{0.01})_{0.95}(P_{0.93}Si_{0.12})_{1.05}O_4 \cdot 2H_2O$ и ближе не диагностированный Sc-содержащий танталониобат марганца $(Mn_{0.87}Sc_{0.08}Fe_{0.01}Ca_{0.01})_{0.97}(Nb_{1.79}Ta_{0.09}Ti_{0.08}W_{0.03}Sn_{0.01})_{2.00}O_6$ (табл. 1 и рис. 6). Герценбергит на свежем сколе имеет стально-серый цвет, на выветрелой поверхности – темно-серый. Блеск металлический. Черта черная.

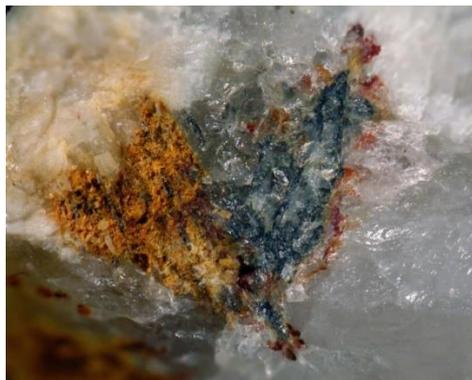


Рис. 3. Удлиненные зерна герценбергита (темно-серое) с «варламовитом» (коричневато-желтые агрегаты) в кварце из пегматита Вез-Дара (Ю-3 Памир). Ширина поля зрения 7,5 мм. Фото М.А. Миракова.

Таблица 1. Химический состав тантало-ниобата марганца из ассоциации с герценбергитом.

компонент	мас.%	Ф.к. при расчете O = 6
MnO	17.91	0.87
FeO	0.31	0.01
CaO	0.18	0.01
Sc ₂ O ₃	1.60	0.08
Sb ₂ O ₃	0.12	0.00
		∑ 0.97
Ta ₂ O ₅	6.01	0.09
Nb ₂ O ₅	68.66	1.79
WO ₃	2.16	0.03
TiO ₂	1.76	0.08
SnO ₂	0.40	0.01
		∑ 2.00
Сумма	99.11	

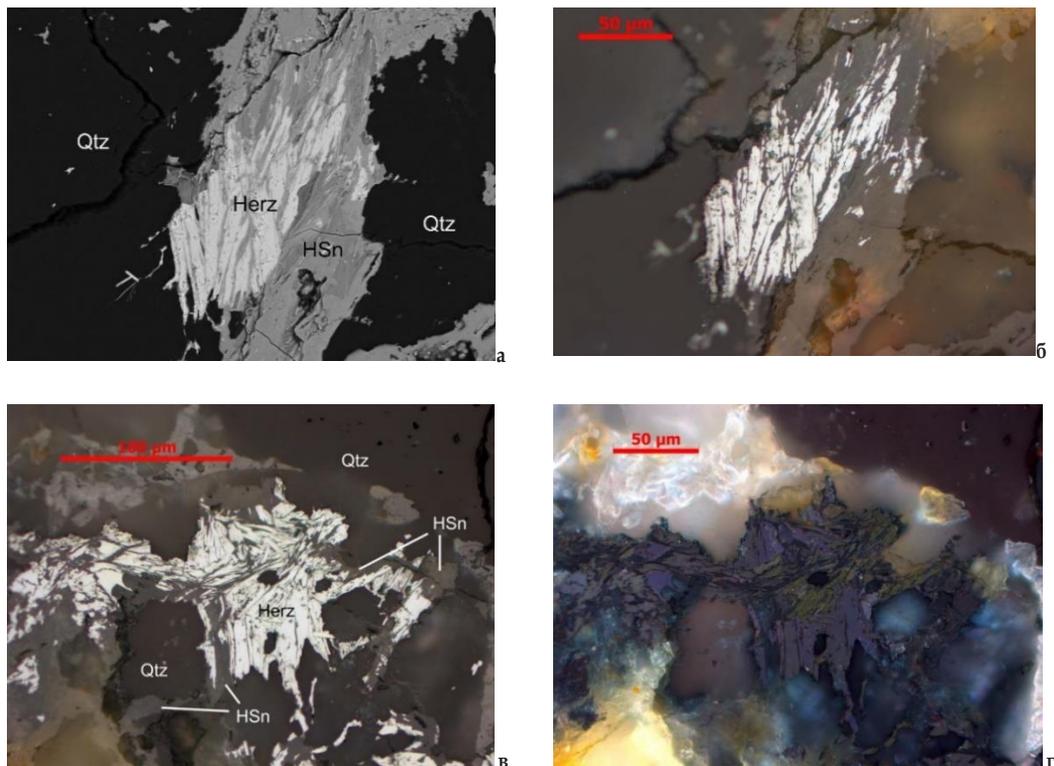


Рис. 4. Пластинчатые выделения герценбергита (Herz), агрегаты «варламовита» (гидростаннагов) (HSn) в кварце (Qtz). Полированный шлиф: а) – вид в отраженных электронах (BSE); б) – тот же участок шлифа, что и на рис. 4а, в отраженном свете при одном николе; в) – агрегат пластинчатых зерен герценбергита в агрегате из зерен кварца, отраженный свет при одном николе; г) – тот же участок, что и на рис. 4в, в скрещенных николях. Видно, что зерна герценбергита в различной ориентировке имеют разный цвет.

В полированных шлифах хорошо видно, что агрегаты герценбергита сложены пластинчатыми зернами минерала, размерами 40–80 x 10–25 мкм (рис. 4). Минерал в отраженном свете имеет белый цвет, отражательная способность умеренно высокая, при 560 нм $R_g = 49.9$ и $R_p = 43.5\%$ (микроспектрофотометр UMSP-50, стандарт – WTiC). Двухотражение в воздухе слабое, в иммерсии видно отчетливо. Анизотропия сильная, в иммерсии – очень сильная. Наблюдаются цветные эффекты анизотропии (рис. 4), которые сильно зависят от типа осветителя и скрещенности николей: при полностью скрещенных николях цветные эффекты видны слабее и меняются от тускло-синего при одном положении угасания до темного коричнево-бурого в другом и коричнево-серого в диагональном положении. При немного раскрещенных николях цветные эффекты проявлены значительно ярче, при одном погасании (по удлинению зерна) – красновато-коричневый, при другом положении погасания – темно-синий, в диагональных положениях – оливковый, в другом диагональном – светло-коричневый. Рефлексы наблюдать не удалось, так как по минералу развиты продукты замещения, имеющие сильные рефлексы, которые мешают наблюдению рефлексов у герценбергита, если они

имеются у описываемого минерала. Герценбергит – мягкий иминерал, микротвердость, измеренная на микротвердомере ПМТ-3 (тари-рованным по NaCl), при нагрузке 20 г равна 82 кгс/мм² (при разбросе от 79 до 86), что относительно близко к микротвердosti минерала из место-рождения Голубое в Приморье – 67 и 107 кгс/мм² (Сирина и др., 1982) и проявления Дружба в Северной Якутии – 90 кгс/мм² (Столяров и др., 1987). Рентгеновская диагностика минерала проведена методом порошка, расчет рентгеновской дифрактограммы приведен в табл. 2. Полученные данные хорошо согласуются с рентгеновской порошкограммой синтетического герценбергита. Параметры ромбической элементарной ячейки исследованного герценбергита, рассчитанные МНК по 20 отражениям, следующие: $a = 4.331(2) \text{ \AA}$, $b = 11.195(3) \text{ \AA}$, $c = 3.983(2) \text{ \AA}$, что в пределах точности соответствует параметрам чистого SnS (Hayashi e.a., 2001).

Химический состав герценбергита из Вез-Даринской жилы изучен методами локального электронно-зондового анализа на микроанализаторе JCSA-733 фирмы JEOL с помощью энергодисперсионного Si(Li)-детектора и системы анализа INCA Energy 350 фирмы Oxford Instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА,

времени набора спектра 100 – 150 с живого времени (табл. 3). Проверка присутствия свинца в минерале проводилась сканированием участка спектра на волнодисперсионном спектрометре с кристаллом PЕТ при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 30 нА, которая показала отсутствие в минерале свинца на уровне чувствительности микрозондового анализа при данных условиях анализа. Изученный герценбергит близок к идеальному составу, отвечающему формуле SnS.

Герценбергит из Вез-Даринской жилы в различной степени замещен агрегатом гидростаннатов и «варламовита» (рис. 3, 4, 5 и 6), что характерно и для выделений герценбергита в NYF-пегматитах около Ключева, Чехия (Škoda end Čorjaková, 2005) и в рудах касситерит-силикатной формации месторождения Дружба, С. Якутия (Столяров и др., 1987; Чистякова и

Столяров, 1990). Химический состав продуктов изменения герценбергита характеризуется большой изменчивостью (табл. 4), что хорошо проявляется на рентгеновских картах распределения элементов (рис. 5, 6). Похожие агрегаты гидростаннатов и «варламовита», развитые по станнину, детально исследованы Н.И. Чистяковой и Г.Н. Нечелюстовым (1985).

Таблица 2. Рентгеновская порошковая диаграмма герценбергита

Герценбергит, Ю-3 Памир		Герценбергит, синт. JCPDS # 39-0354		
d	I	d	I	hkl
4.034	5	4.035	40	110
3.422	22	3.425	50	120
3.245	12	3.244	65	021
2.931	6	2.931	70	101
2.835	16	2.835	100	111
2.799	100	2.797	50	040
2.305	11	2.305	50	131
2.283	5	2.289	6	041
2.163	1	2.165	3	200
2.126	6	2.125	25	210
2.023	8	2.024	35	141
1.989	9	1.9921	50	002
1.875	5	1.8751	45	211
		1.7864	25	112
1.779	11	1.7791	35	151
	0	1.7219	40	122
1.714	7	1.7131	17	160
1.696	3	1.6946	19	231
1.690	7	1.6893	16	061
1.624	2	1.6228	35	042
1.557	3	1.5561	8	250
1.518	1	1.5193	4	142
1.467	2	1.4661	7	202
1.455	6	1.4535	30	212
1.448	11	1.4496	22	251
		1.4073	9	152
1.404	12	1.4037	12	171
1.400	11	1.3991	11	080

Примечание. 1 – условия съемки: дифрактометр ДРОН-2, Си-анод, Ni-фильтр, скорость счетчика – 1 градус/мин, внутренний стандарт – кварц. Аналитик – Л.А. Паутов

Таблица 3. Химический состав (мас.%) герценбергита из разных месторождений

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sn	79.01	78.48	78.74	78.88	77.86	78.49	78.98	78.12	78.85	80.0	78.1	78.4	57.2
Pb	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.							18.8
Sb	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.							1.7
Cu	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.		0.228	0.00	0.80	0.1		
Fe	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.		0.249	0.03	0.00	0.1	Сл.	
S	20.96	21.20	21.45	21.22	21.12	21.11	21.10	19.043	21.22	19.0	21.0	21.3	21.2
Сумма	99.97	99.68	100.19	100.10	98.98	99.60	100.08	97.64	100.10	99.8	99.3	99.7	98.9
Формульные коэффициенты при расчете на S = 1.00													
Sn	1.02	1.00	0.99	1.00	1.00	1.01	1.01	1.108	1.004	1.14	1.005	1.00	0.73
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							0.14
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							0.02
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.006	0.000	0.02	0.002		
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.007	0.001		0.003		
S	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.000	1.000	1.00	1.000	1.00	1.00

Примечание. н.п.о.- ниже предела определения электронно-зондовым анализом, пустая клетка – данные в источнике не приведены.

1 – 6 – из миаролового пегматита Вез-Дара, Ю-3 Памир, наши данные;

7 – из касситерит-литиевого пегматита, Швеция (Smeds, 1993);

8 – 9 – из пегматитов Моравии, Чехия (Škoda, 2005);

10 – из руд касситерит-силикатной формации, рудопоявление Дружба, Северная Якутия (Столяров и др., 1987);

11 – из руд касситерит-сульфидной формации с галенитом, месторождение Голубое, Приморье (Сиряна и др. 1982);

12 – из касситерит-пирротиновых руд месторождения Шинкура, Япония (Aoki, 1971);

13 – из касситерит-сульфидных руд месторождения Бургаулинское, Якутия (Некрасов, 1976).

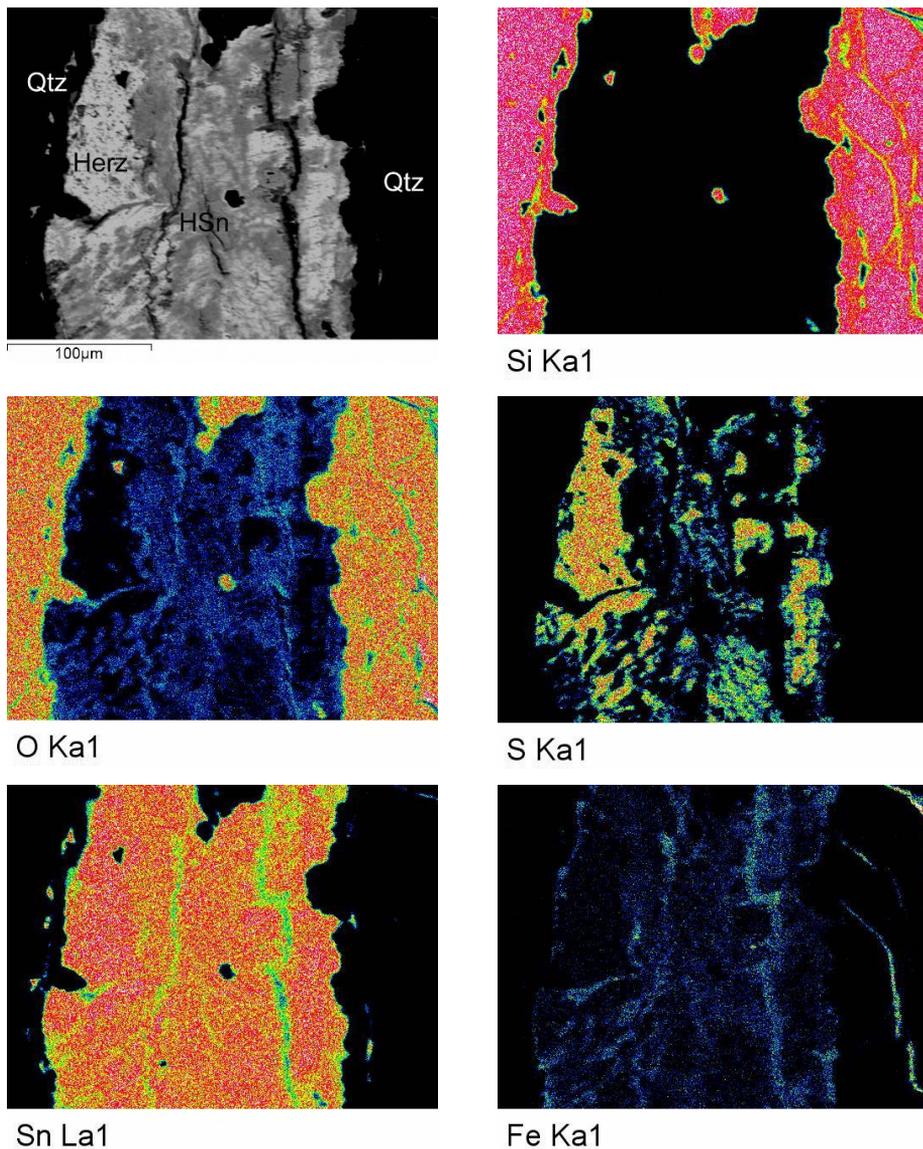


Рис. 5. Зернистый агрегат герценбергита (Herz), замещенный в разной степени гидростаннатами и варламовитом (HSn) в кварце (Qtz). Изображение в режиме BSE и в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов.

Таблица 4 Химический состав (мас. %) «варламовита» (гидростаннатов олова) из пегматита Вез-Дара

компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	3.72	3.81	4.84	4.38	9.03	4.56	2.35	2.62	4.22
Al ₂ O ₃	0.58	0.66	1.35	1.40	1.98	1.28	0.26	1.32	1.50
SnO ₂	70.89	71.13	66.57	73.83	62.88	74.99	83.48	72.10	74.11
MgO	0.38	0.23	0.18	0.34	0.38	0.13	0.22	н.п.о.	0.20
CaO	0.35	0.75	1.14	0.82	1.97	0.50	н.п.о.	н.п.о.	0.76
MnO	0.13	н.п.о.	0.14	н.п.о.	0.14	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
FeO	9.16	8.45	10.76	6.10	7.93	5.61	2.77	7.92	5.94
CuO	0.26	0.20	н.п.о.	0.49	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
ZnO	н.п.о.	н.п.о.	0.25	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
P ₂ O ₅	0.45	0.19	0.84	0.52	0.61	0.26	н.п.о.	н.п.о.	0.48
As ₂ O ₃	0.66	0.65	1.07	0.71	1.56	0.71	н.п.о.	1.12	1.14
Сумма	86.59	86.06	87.16	88.59	86.47	88.05	89.07	85.07	88.35

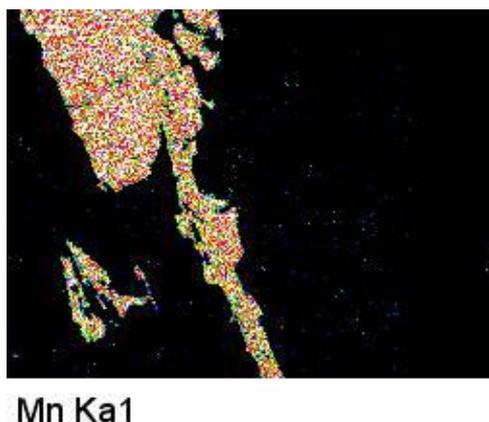
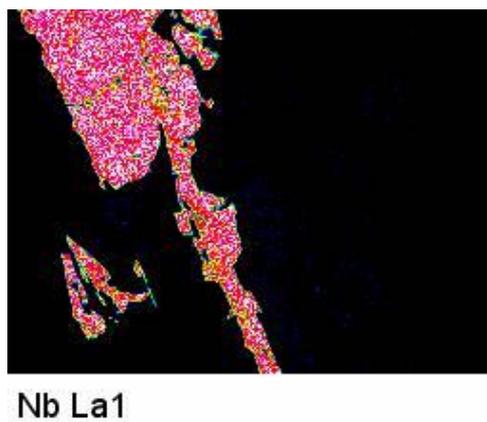
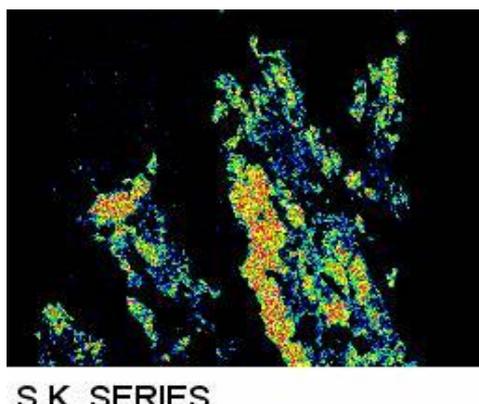
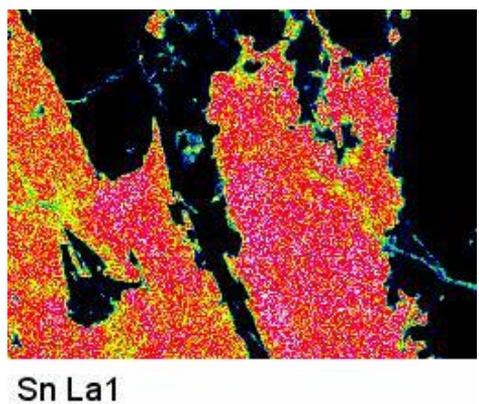
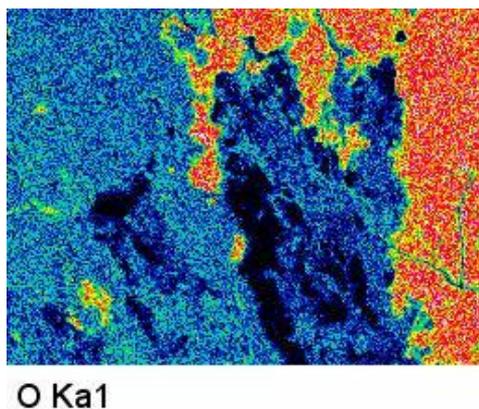
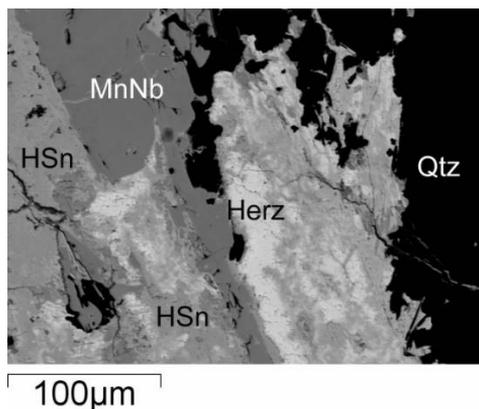


Рис. 6. Срастание герценбергита (Herz), частично замещенного агрегатом гидростаннатов – «варламовита» (HSn) с тантало-ниобатом марганца (MnNb) в кварце (Qtz). Изображение в режиме BSE и в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов.

Обсуждение

В миароловом гранитном пегматите Вез-Дара на Юго-Западном Памире диагностирован герценбергит, находки этого сульфида в гранитных пегматитах в мире единичны. По-видимому, эта находка является первой находкой герценбергита

на территории Таджикистана.

Герценбергит с Памира по составу приближается к идеальному составу SnS, примесей на уровне чувствительности электронно-зондового анализа не выявлено. Интересно отметить, что большинство опубликованных в последние десяти-

летия анализов, выполненных локальными методами, также показывают крайне незначительные содержания примесных элементов, прежде всего свинца (см. табл. 3) не только в минерале из пегматитов, но и из других объектов, включая касситерит-сульфидные месторождения. Другую, малочисленную группу составляют анализы герценбергита (как пример ан. 13 в табл. 3) с довольно высокими содержаниями свинца (более 13 мас.%), приведены в работе И.Я. Некрасова (1976). Составов природного герценбергита, закрывающих этот пробел, в доступной литературе обнаружить не удалось, хотя экспериментально показано наличие непрерывного ряда твердых растворов между герценбергитом SnS и тиллитом PbSnS_2 (Chang and Brice, 1971; Dråbek and Stempok, 1974; Некрасов, 1976; Hayashi e.a., 2001). Возможно, что бесвинцовый герценбергит кристаллизовался из сред, бедных свинцом, однако известна находка герценбергита, не содержащего свинца на уровне чувствительности анализа, из ассоциации с галенитом (Сирина и др., 1982). Другое возможное объяснение наблюдаемого разрыва в составах минералов предполагаемого ряда герценбергит-тиллит – это отсутствие или осложнение неограниченного изоморфизма в природе между свинцом и оловом в системе $\text{SnS} - \text{SnPbS}_2$, чему может способствовать наличие сильного ближнего порядка в расположении атомов Pb и Sn в фазе тиллитового состава (Лебедев и др., 2002). В любом случае к настоящему времени имеется довольно ограниченное количество анализов герценбергита, выполненных локальными методами, и представляется интересным для решения вопроса о существовании в природе непрерывного ряда герценбергит – тиллит проведение ревизии музейных образцов и поиск новых находок этого минерала.

Список литературы:

- Владимиров А. Г., Мальх М. М., Дронов В. М., Чернер Э. С., Поляков Г. В. (1992) Индосинийский магматизм и геодинамика Южного Памира. Новосибирск. 229 с.
- Волошин А. В., Пахомовский Я. А., Бахчисарайцев А. Ю., Пуцаровский Д. Ю., Янова Н. А. (1997) Корагонит – новый минерал миароловых пегматитов Юго-Западного Памира // Докл. РАН. Т. 353, № 4. С. 516–518.
- Диман Е. Н., Некрасов И. Я. (1966) Условия образования простых сульфидов олова по экспериментальным данным // Докл. АН СССР. Т. 170. № 2. С. 421–424.
- Индолев Л. Н., Флеров, Б. Л., Жданов, Ю. А., Бровкин, А. А. (1964) Герценбергит из Депутатского месторождения. // Докл. АН СССР. Т. 159, № 5. С. 1044–1047.
- Колонин Г. Р., Кириллова Е. А. (1976) Гидротермальный синтез простых сульфидов олова в сероводородных растворах. // Экспериментальные исследования по минералогии. Сб. научных трудов. Новосибирск. С. 20–25.
- Коноваленко С. И., Волошин А. В., Ананьев С. А., Пахомовский Я. А., Перлина Г. А. (1984) Тетравикманит из миароловых пегматитов Юго-Западного Памира // Минералогический журнал. Т. 6. № 1. С. 89–92.

Образование герценбергита в пегматитах возможно несколькими путями: прямой кристаллизацией из Sn-содержащих флюидов и путем псевдоморфного замещения оловосодержащих минералов, прежде всего касситерита. Для сульфидизации SnO_2 в гидротермальных условиях, по экспериментальным работам (Диман и Некрасов, 1966; Колонин и Кириллова, 1976; Некрасов, 1976, 1984; Wang e.a., 2017), наиболее благоприятны кислые растворы и восстановительная обстановка при сравнительно низкой температуре (менее 300 °С). Герценбергит в образце из пегматитовой жилы Вездара имеет автоморфные формы, а следов коррозии касситерита обнаружено не было, что дает возможность предположить, что кристаллизации сульфида олова проходила не за счет замещения касситерита, а путем прямой кристаллизацией в восстановительных условиях из обогащенного Sn^{+2} кислого раствора на низкотемпературном гидротермальном этапе становления пегматита.

Герценбергит довольно легко замещается гидростаннатами и «варламовитом», на что указывают многие исследователи (Чистякова и Столяров, 1990; Škoda and Čorjaková, 2005 и др.). Герценбергит с Памира также частично замещен «варламовитовым» агрегатом, что может быть обусловлено как неустойчивостью сульфида олова при увеличении pH растворов еще на гипогенном этапе, так и результатом гипергенного окисления минерала.

Благодарности

Авторы благодарят за помощь в проведении полевых работ А. Р. Файзиева, Ф. А. Малахова, Н. С. Сафаралиева, Т. Г. Бахтибекова, С. А. Эльназарова и Р. У. Сабирова

Коноваленко С. И. (2005) Полумцит миароловых пегматитов Юго-Западного Памира // Спектроскопия, рентгенография и кристаллохимия минералов. Материалы международной научной конференции. Казань, Республика Татарстан. Россия. 27–29 сентября 2005 г. Казань. С. 111–112.

Коноваленко С. И. (2006) Типы миароловых пегматитов кристаллической толщи юго-западного Памира // Геммология. Сборник статей. Томск: ФГУ «Томский ЦНТИ», С. 69–75.

Коноваленко С. И. (2009) Коллекционное сырье миароловых пегматитов Юго-Западного Памира // Геммология. С. 62–75.

Коноваленко С. И. (2015) Ювелирные и коллекционные минералы вездаринской жилы юго-западного Памира. // Месторождения камнесамоцветного и нерудного сырья различных геодинамических обстановок (XVI Чтения памяти академика А. Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГУРО РАН. С. 59–63.

Лебедев А. И., Случинская И. А., Манро И. (2002) Исследование локальной структуры твердого раствора

- Pb_xSn_{1-x}S методом EXAFS-спектроскопии // Физика твердого тела. Т. 44. № 9. С. 1568–1572.
- Некрасов И.Я. (1976) Фазовые соотношения в олово-содержащих системах. М.: Наука. 362 с.
- Некрасов И.Я. (1984) Олово в магматическом и постмагматическом процессах. М.: Наука. 240 с.
- Сирина Т.Н., Рябева Е.Г., Чистякова Н.И. (1982) Герценбергит – новые данные // Докл. АН СССР. Т. 264. № 1. С. 187–191.
- Столяров И.С., Силенко Т.М., Дорохова Г.И., Юркина К.В., Рябева Е. Г. (1987) Герценбергит Якутии // Докл. АН СССР. Т. 293. № 6. С. 1471–1475.
- Чистякова Н.И., Нечелюстов Г.Н. (1985) Неоднородность гипергенных минералов олова // Минералогический журнал. Т.7. №. 4. С. 39–48.
- Чистякова Н.И., Столяров И.С. (1990) Герценбергит-гидростаннаговая ассоциация в рудах месторождения Дружба (Якутия) // Минералогический журнал. Т.12. № 4. С. 73–81.
- Эфрос Б.Д., Гутцайт Г.Я., Карачун С.А., Машиковцев Э.Ф., Покровский Е.В., Салтанов Е.Л. (1971) Отчет партии № 10 о результатах тематических, ревизионных и поисковых работ на технический турмалин и лазурит за 1970 год. Т. 5. Ревизионные и поисково-разведочные работы на Памире. Л.: Министерство геологии СССР. Всесоюзное шестое производственное объединение. Комплексная разведочно-добычная экспедиция № 121 // Неопубликованные фондовые материалы.
- Ali S., Wang F., Zafar S., Iqbal T. (2017) Hydrothermal Synthesis, Characterization and Raman Vibrations of Chalcogenide SnS Nanorods // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing. Vol. 275. №. 1. P. 012007.
- Aoki Y. (1971) Herzenbergite from the Shinkiuura mine, Oita prefecture, Japan // J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Mining Geol. 65. P. 221–229 (Japanese with English Abstract).
- Barkov A.Y., Laajoki K.V.O., Gornostayev S.S., Pakhomovskii Y.A., Menshikov Y.P. (1998) Sorosite, Cu(Sn,Sb), a new mineral from the Baimka placer deposit, western Chukotka, Russian Far East // American Mineralogist. Vol. 83. P. 901–906.
- Barkov A.Y., Martin R. F., Shi L. (2006) New data on type-locality sorosite: Compositional variations, zoning, and a revised formula // Canadian Mineralogist. Vol. 44. P. 1469–1480.
- Buchia P.S.D., Jumas J.C., Maurin M. (1981) Contribution à l'Etude de Composés Sulfurés d'Étain(II): Affinement de la Structure de SnS // Acta Cryst. B. 37. P.1903–1905.
- Burke E. A., Zakrzewski, M. A. Herzenbergite and associated antimony minerals from Björkskogsnäs, Hällefors, Sweden // Geologiska Föreningens i Siockholm Förhandlingar. Vol. 112 (1). P. 85–86.
- Chang L.L.Y., Brice W.R. (1971) The herzenbergite-teallite series. // Mineral. Mag. Vol. 38. P. 186–189.
- Cook N.J., Spry P.G., Vokes F.M. (1998) Mineralogy and textural relationships among sulphosalts and related minerals in the Bleikvassli Zn-Pb-(Cu) deposit, Nordland, Norway // Mineralium Deposita. 34. P. 35–56.
- Čopjaková R., Škoda R., Galiová M.V., Novák M. (2013) Distributions of Y⁺ REE and Sc in tourmaline and their implications for the melt evolution; examples from NYF pegmatites of the Třebíč Pluton, Moldanubian Zone, Czech Republic // Journal of Geosciences. Vol. 58. №. 2. P. 113–131.
- Drábek M., Stempok M. (1974) The system Sn-SO and its geological application // Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen. Vol. 122. №. 1. P. 90–118.
- Dunkle S.E., Craig J.R., Rimstidt J.D. (2003) Romarchite, hydromarchite and abhurite formed during the corrosion of pewter artifacts from the queen Anne's revenge (1718) // Canadian Mineralogist. Vol.41. P. 659–669.
- Hayashi K., Kitakaze A., Sugaki A. (2001) A re-examination of herzenbergite-teallite solid solution at temperatures between 300 and 700° C // Mineralogical Magazine. Vol. 65. №. 5. P. 645–651.
- Hofmann W. (1935) Ergebnisse der Strukturbestimmung komplexer Sulfide. I: Sn S und Pb Sn S2 // Zeitschrift fuer Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie. 92. S. 161–173.
- Novák M., Škoda R., Filip J., Macek I., Vaculovič T. (2011) Compositional trends in tourmaline from the intragranitic NYF pegmatites of the Třebíč Pluton, Czech Republic; electron microprobe, LA-ICP-MS and Mössbauer study // Canadian Mineralogist. 49. P. 359–380.
- Ohta E. (1991) Polymetallic Mineralization at the Toyoha Mine, Hokkaido, Japan // Mining Geology. 41(5). P. 279–295
- Pašava J., Křibek B., Dobeš P., Vavřin I., Žák K., Delian F., Tao Z. (2003) Boiron M. Tin-polymetallic sulfide deposits in the eastern part of the Dachang tin field (South China) and the role of black shales in their origin // Mineralium Deposita. 38. P. 39–66
- Peng Z., Watanabe M., Hoshino K., Shūbata Y. (1999) Ore mineralogy of Tin-polymetallic (Sn-Sb-Fe-Pb-Zn-Cu-Ag) ores in the Dachang tin field, Guangxi, China and their implications for the ore genesis. // Neu Jb Mineral Abh. 175. 2. S. 125–151.
- Petrov A., Smith B., Smith C. (2001) A guide to Mineral Localities in Bolivia // Mineralogical Record. Vol. 32. P. 457–482.
- Ramdohr P. (1935) Vorkommen und eigenschaften des herzenbergits // Zeitschrift für Kristallographie. Vol. 92. P. 186–189.
- Škoda R., Čopjaková R. (2004) Unusual Sn mineralization from the NYF pegmatite near Klučov, Třebíč Pluton, Moldanubicum // Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. P. 93–97 (in Czech with English summary).
- Škoda R., Čopjaková R. (2006) Herzenbergite and Sn-bearing tinenite from the NYF Pegmatite in Třebíč Pluton, Moldanubicum, Czech Republic // Acta Miner.-Petrograph., Abstract. Series 5. Szeged. P.107
- Smeds S. (1993) Herzenbergite (SnS) in Proterozoic granite pegmatites in north-central Sweden // Mineralogical Magazine; September. Vol. 57. № 388. P. 489–494.
- Sugaki A., Kitakaze A. (1988) Tin-bearing minerals from Bolivian polymetallic deposits and their mineralization stages // Mining Geology. Vol. 38. №. 211. P. 419–435.
- Wiedemeier H., Schnering H.G. (1978) Refinement of the structures of GeS, GeSe, SnS and SnSe // Zeitschrift für Kristallographie. 148. S. 295–303.
- Yajima J., Ohta E., Kanazawa Y. (1991) Toyohaite, Ag₂FeSn₃S₈, a new mineral // Mineralogical journal. Vol. 15. №. 5. P. 222–232