

ных атомов сурьмы ($r=1.44$) меньшими по размеру атомами серы ($r=1.04$), при условии близости атомных радиусов иридия ($r=1.35$), платины ($r=1.38$) и палладия ($r=1.37$).

Авторы весьма признательны А. А. Смыслову и В. В. Павшукову за содействие в проведении электронно-зондовых исследований во ВСЕГЕИ и Н. И. Зенкиной, Н. И. Черновой и М. Г. Соковой за помощь в изучении физических свойств толовкита в ВИМСе.

Полированный шлиф 19/37 с толовкитом передан в Горный музей Ленинградского горного института.

Литература

Б р э г г У., К л а р и н г б у л л Г. (1967). Кристаллическая структура минералов. «Мир».

В о л А. Е., К а г а н И. К. (1976). Строение и свойства двойных металлических систем. Т. III. «Наука».

М и х е е в В. И. (1957). Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат.

Х а н с е н М., А н д е р к о К. (1962). Структуры двойных сплавов. Т. II. Металлургиядат.

Н a g s o u r t G. A. (1942). Tables for the identification of ore-minerals by X-ray powder patterns. Amer. Miner., v. 27, N 2.

R a i c e v i c D., S a b r i L. J. (1976). Mineralogy and concentration of Au- and Pt-bearing placers from the Tulameen river area in British Columbia. Canad. Miner. and Metal. Bull., v. 69, N 770.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт (СВКНИИ) Дальневосточного научного центра АН СССР, г. Магадан.

УДК 549.35

Д. чл. Ю. С. БОРОДАЕВ, д. чл. Н. Н. МОЗГОВА, Н. А. ОЗЕРОВА,
д. чл. Н. С. БОРТНИКОВ, П. ОЙВАНЕН, В. ИЛЕТУЙНЕН

ПЯККЁНЕНИТ — Sb_2AsS_2 — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ РУДНОГО РАЙОНА СЕЙНЬЯОКИ В ФИНЛЯНДИИ¹

В сурьмяных рудах месторождения Каллиосало (рудный район Сейньяоки в Финляндии) открыт новый минерал, состав которого выражается формулой Sb_2AsS_2 . Минерал назван пяккёненитом (pääkkönenite) в память о недавно умершем финском геологе Вейкко Пяккёнене, внесшем большой вклад в изучение месторождений этого района. Ранее соединение такого состава было установлено при экспериментальном исследовании систем $Sb-As-S$ (Craig и др., 1974) и $Cu-Sb-As-S$ (Luce и др., 1977).

Х а р а к т е р в ы д е л е н и й, а с с о ц и а ц и я и ф и з и ч е с к и е с в о й с т в а. Пяккёненит в рудах Сейньяоки представлен мелкими пластинчатыми (рис. 1, а), округлыми изометричными и неправильной формы (рис. 1, б) зёрнами размером до 0.4 мм, заключёнными в выделениях самородной сурьмы. Здесь же в непосредственном контакте с пяккёненитом нередко отмечаются более мелкие идиоморфные кристаллы

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 14 июля 1980 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 29 октября 1980 г.

арсенопирита и никельсодержащего лёллингита. В руде, представляющей минерализованный кристаллический сланец, присутствуют гудмундит, бертьерит, антимонит, цинкениит, пирротин и развивающийся по нему

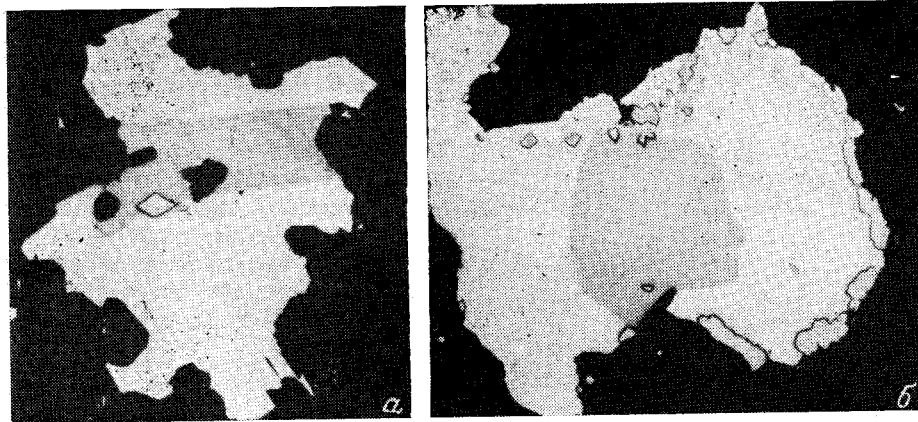


Рис. 1. Формы в деления пяккёненита. Полир. шлиф, без анализатора. Увел.: а — 120, б — 220.

а — пластинчатое выделение пяккёненита (светло-серое) в самородной сурьме (белое); кристалл ромбовидной формы — никельсодержащий лёллингит; б — округлое выделение пяккёненита в самородной сурьме, мелкие рельефные кристаллы — арсенопирит.

марказит. Здесь же встречены два новых сульфоантимонита свинца, условно названных Y- и Z-минералами.

Пяккёненит обладает темно-серым цветом и металлическим блеском. Черта серая со слабым коричневатым оттенком. Легко царапается медной иглой, хрупкий, выкрашивается по спайности, форма осколков игольчатая. Широко развиты тонкие полисинтетические двойники, параллельные удлинению, в поперечных сечениях нередко видно взаимное перпендикулярное расположение систем этих двойников (рис. 2).

В отраженном свете минерал светло-серый с очень слабым буроватым оттенком. Сильно анизотропен. Цветной эффект анизотропии слабый —

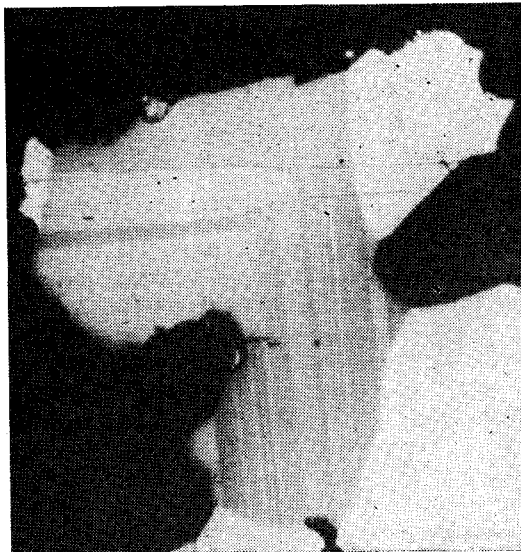
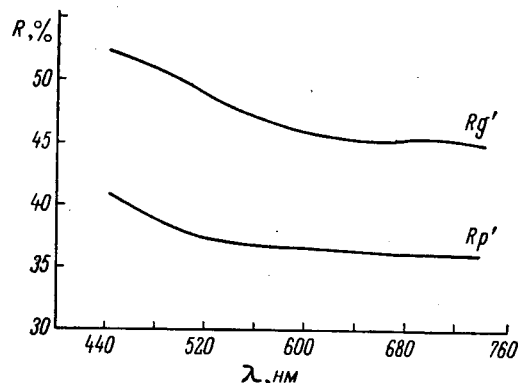


Рис. 2. Полисинтетические двойники пяккёненита, белое — самородная сурьма. Полир. шлиф, ник. скрещ., увел. 240.

от коричневатого до голубоватого. Двухотражение слабое, заметное в воздухе. Цветной эффект двухотражения также очень слабый — от буровато-серого до светло-голубовато-серого. Величины отражения (%), измеренные Л. Н. Вяльсовым (ПИОР, эталоны кремний и пирит): 440 нм 40.9—52.1, 460 нм 39.8—51.7, 480 нм 38.7—50.8, 500 нм 38.0—49.8, 520 нм 37.5—48.7,

540 нм 37.2—47.8, 560 нм 36.9—47.0, 580 нм 36.7—46.3, 600 нм 36.6—45.8, 620 нм 36.5—45.5, 640 нм 36.4—45.3, 660 нм 36.2—45.1, 680 нм 36.2—45.4, 700 нм 36.0—45.3, 720 нм 35.9—45.2, 740 нм 35.8—44.9 (рис. 3). Внутренние рефлексии ярко-красные, видны только в порошке (в воздухе). По рельефу немного ниже самородной сурьмы.

Твердость микровдавливания (ПМТ-3, тарирован по NaCl, при нагрузке 10 гс) в сечениях, параллельных удлинению $H_{\max} = 87$ кгс/мм² и $H_{\min} = 66$ кгс/мм² (среднее из 15 измерений); в изометрических сечениях анизотропия твердости практически отсутствует, $H_{\text{ср}} = 77$ кгс/мм². Отпечатки



сильно искажены развивающимся около них множеством трещинок спайности (перпендикулярных удлинению) и раковистыми сколами, что сильно затрудняет точное измерение длины диагоналей.

Рис. 3. Кривые дисперсии отражения пьаккёненита.

Рентгенографические данные. Согласно данным Дж. Крейга и соавторов (Craig и др., 1974), синтетическая фаза Sb_2AsS_2 обладает моноклинной элементарной ячейкой с параметрами $a_0 = 5.40$, $b_0 = 3.98$, $\beta = 90^\circ$. Рентгеновское излучение пьаккёненита проведено по методу порошка, извлеченного под микроскопом из зерен, проанализированных на микронзонде. Индексирование дебаеграммы пьаккёненита (табл. 2) и уточнение параметров элементарной ячейки на ЭВМ по программе, разработанной в Институте экспериментальной минералогии АН СССР (Чичагов и др., 1979), привели к следующим результатам: $a_0 = 5.372 \pm 0.007$, $b_0 = 3.975 \pm 0.005$, $c_0 = 11.41 \pm 0.01$ Å и $\beta = 89.71 \pm 0.15^\circ$. Рентгеновская плотность нового минерала при $Z=2$ 5.21 г/см³.

Т а б л и ц а 1

Результаты расчета дебаеграммы пьаккёненита

<i>I</i>	$d_{\text{изм}}$	<i>hkl</i>	$d_{\text{расч}}$	<i>I</i>	$d_{\text{изм}}$	<i>hkl</i>	$d_{\text{расч}}$
4	3.90	10 $\bar{2}$	3.900	0.5	1.883	022	1.876
1	3.67	041	3.753	3	1.750	214	1.750
0.5	3.29	012	3.261	0.5	1.672	123	1.672
4	3.13	103	3.112	1	1.595	215	1.597
10	2.87	004	2.853	1	1.498	025	1.499
6	2.68	200	2.685	0.5	1.309	402	1.308
3	2.27	005	2.283	0.5	1.207	324	1.207
2	2.08	212	2.076	1	1.777	119	1.777
2	1.985	020	1.987				

Примечание. Условия съемки: камера РКД-57.3, неотфильтрованное Fe излучение, симметричная закладка пленки. Аналитик Е. В. Белибова.

Химический состав. Зерна пьаккёненита гомогенны, в их состав входят лишь Sb, As и S. Средний химический состав нового минерала, рассчитанный на пять атомов, близок к идеализированной формуле Sb_2AsS_2 (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Результаты микрозондового анализа пяккёненита, мас. %

Анализ	Sb	As	S	Сумма	Формула
1	65.8	17.8	15.5	99.1	$Sb_{2.14}As_{0.94}S_{1.92}$
2	65.3	18.9	15.1	99.3	$Sb_{2.13}As_{1.00}S_{1.86}$
3	65.9	18.7	15.4	100.0	$Sb_{2.13}As_{0.98}S_{1.89}$
4	69.5	17.0	16.2	102.7	$Sb_{2.19}As_{0.87}S_{1.94}$
5	68.0	17.9	15.5	101.4	$Sb_{2.18}As_{0.93}S_{1.89}$
Среднее	66.9	18.6	15.5	101.0	$Sb_{2.14}As_{0.97}S_{1.89}$
Теоретический	63.7	19.6	16.7	100.0	Sb_2AsS_2

Примечание. Условия анализа: микрозонд JXA-5 фирмы JEOL (лаборатория рудной микроскопии геологического факультета МГУ), 25 кВ, диаметр зонда ~1 мкм, аналитические линии $As_{K\alpha_1}$, $Sb_{L\alpha_1}$, $S_{K\alpha}$; эталоны: металлическая Sb, синтетические FeS (на S) и GaAs (на As); расчет концентраций выполнен методом гипотетического состава и последовательных приближений с использованием известных формул (Springer, 1967).

Максимальная термальная стабильность фазы равна химическому аналогу пяккёненита — $535 \pm 5^\circ C$ (Craig и др., 1974). Согласно экспериментальным данным, эта фаза имеет узкую область твердого раствора, состав которого, по Дж. Крейгу и соавторам, при 500° находится в следующих пределах, мас. %: Sb 62.2—64.7, As 19.0—20.7, S 16.3—17.1. Причем в равновесии с металлической сурьмой и антимонитом твердый раствор обогащен сурьмой. По Ф. Льюсу и соавт. (Luce и др., 1977), в интервале от 425 до 500° области гомогенности этой фазы несколько шире, мас. %: Cu 0.1—0.3, Sb 61.0—67.7, As 15.3—19.9, S 16.1—17.2.

Химический состав пяккёненита также варьирует в незначительных пределах (табл. 2, рис. 4) и, подобно искусственному твердому раствору в ассоциации с самородной сурьмой, он характеризуется повышенным содержанием Sb по сравнению со стехиометрическим составом Sb_2AsS_2 .

Минералы системы Sb—As—S. В данной системе, кроме обнаруженного нами пяккёненита, известны еще два минерала: гетчелит $AsSbS_3$ и вакабаяшиллит $Sb_2As_{20}S_{36}$. Сопоставление химического состава этих минералов (табл. 3, рис. 4) показывает, что пяккёненит содержит наименьшее среди них количество серы и максимальное количество сурьмы. Причем в отличие от двух других минералов этой системы соотношения минералообразующих элементов в нем отклоняются от соотношений, требуемых формальной валентностью. Кроме того, пяккёненит обладает наименьшей элементарной ячейкой, наибольшей плотностью и наименьшей прозрачностью (табл. 3). В связи с последним он резко отличается от гетчелита и вакабаяшилита под микроскопом в отраженном свете и больше похож на антимонит. Сходство с антимонитом ранее отмечалось для синтетической фазы Sb_2AsS_2 (Craig и др., 1974). Для объяснения описанных особенностей свойств пяккёненита можно предположить, что из-за недостатка в нем против требуемого формальной валентностью количества серы между мышьяком и сурьмой резко усиливаются ковалентные связи за счет перекрывания их электронных оболочек. Мышьяк при этом как элемент более металлоидный по сравнению с сурьмой может выполнять анионную функцию.

Из сопоставления порошкограмм (рис. 5) видно, что пяккёненит структурно более близок к гетчелиту, чем к вакабаяшилиту: основные линии нового минерала отмечаются на рентгенограмме гетчелита, хотя некоторые интенсивные линии гетчелита на порошкограмме пяккёненита отсутствуют.

Об условиях образования пяккёненита находятся самородная сурьма, лёллингит

Таблица 3

Основные характеристики сульфидов сурьмы и мышьяка

Минерал (автор)	Формула	S/Sb, As	Sb/As	c ₀ , Å	b ₀ , Å	c ₀ , Å	β, град	Объем элементарной ячейки, Å ³	Плотность, г/см ³		Прозрачность в видимом свете
									расч	измер	
Вакабаяилит (Scott, Nowacki, 1975)	Sb ₂ As ₂₀ S ₃₆	1.6	0.1	14.564 или сверх- структура	14.564	6.480		1190.3297	4.04	3.96	Прозрачен
Гетчилит (Guillermo, Wuensch, 1973)	AsSbS ₃	1.5	1	29.128	6.480	29.128	120	4761.319	3.98	3.92	Прозрачен
				11.8568	9.0152	10.1938	116.365	976.2993			
Пяккёнит		0.7	2	11.85	8.99	10.16	116.45	969.06	5.21	—	Непрозрачен, внутренние рефлексы видны лишь в порошке
				5.372	3.975	11.41	89.71	243.642			

Таблица 4

Химический состав (мас.%) минералов, ассоциирующихся с пяккёнитом

Минерал	Pb	Fe	Ni	Cu	Sb	As	S	Сумма	Формула
Сурьма	—	—	—	—	88.9	11.1	—	100.0	(Fe _{0.08} Ni _{0.32}) _{1.0} (As _{1.93} Sb _{0.06} S _{0.01}) _{2.00}
Лёллингит	—	18.5	9.0	—	3.4	70.7	0.2	101.8	Pb _{0.39} Sb _{10.07} As _{4.03} S _{9.42}
У-минерал	10.0	—	—	—	59.7	15.4	14.8	99.9	Pb _{1.08} Sb _{6.94} As _{2.03} S _{5.96}
Z-минерал	17.6	—	—	—	56.9	11.9	15.0	101.4	(Pb _{0.94} Cu _{0.06}) _{1.05} Sb _{2.11} S _{3.85}
Цинкёнит	34.8	—	—	0.9	45.8	—	21.1	103.6	

Примечание. Условия анализа те же (табл. 2), кроме того, использовались аналитические линии Fe, Ni, Cu — K_α, As L_α, Pb M_α; эталоны: чистые металлы Fe, Ni, Cu и природный галенит (на Pb и S).

