

- Lutz H. D., Okonska-Koziowska I. X-Ray investigation of the solid solution zinc copper chromium sulfide ($Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$) with spinel structure // *Mat. Res. Bull.* 1982. Vol. 17, N 1. P. 25—28.
- Nakai I., Izawa M., Sugitani Y. et al. X-Ray photoelectron spectroscopic study of copper minerals // *Miner. J.* 1976. Vol. 8, N 2. P. 135—138.
- Sleight A. W. Copper (II) or copper (I) in chalcogenide soinals? // *Mat. Res. Bull.* 1967. Vol. 2, N 12. P. 1107—1109.

Институт земной коры,
Институт геохимии,
Геологический институт
(Бурятский филиал)
Сибирского отделения АН СССР,
Иркутск—Улан-Удэ.

Поступила в редакцию
19 февраля 1988 г.

УДК 549.753:553.2.067

ЗВМО, № 1, 1989 г.

Д. члены Л. П. ВЕРГАСОВА, С. К. ФИЛАТОВ, Т. Ф. СЕМЕНОВА, Т. М. ФИЛОСΟΦОВА

СОФИИТ $Zn_2(SeO_3)Cl_2$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ВОЗГОНОВ¹

Минерал является продуктом фумарольной деятельности Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ), происшедшего на Камчатке в 1975—1976 гг. (БТТИ, 1984). Со дня окончания извержения и до 1985 г. в районе Северного прорыва встречался в незначительных количествах и только на фумарольных площадках II шлакового конуса и его лавовых потоках. На южном прорыве был обнаружен также в незначительных количествах в 1978 г. на основном фумарольном поле (северо-восточная кромка кратера) шлакового конуса. В 1985 г. минерал имел широкое распространение в продуктах фумарол, приуроченных к линейным просадкам субмеридианального простирания юго-восточной части II конуса. Много этого минерала осаждалось также на I конусе, но только в одном месте, во вновь образованной трещине в пределах юго-восточного фумарольного поля. Тесно ассоциировал с ватоподобными гигроскопическими возгонами, содержащими цинк и хлор, с которыми он выполнял мелкие трещинки и пространство между обломками изверженных пород — фторметасоматитов (Набоко, Главатских, 1983) до глубины 1—3 см от поверхности фумарольного поля. Помимо софиита и ватоподобных масс белых возгонов в продуктах деятельности фумарол, приуроченных к линейным просадкам II конуса, были встречены также тенорит CuO , кутуннит $PbCl_2$ (Семенова и др., 1988), пономаревит $K_4Cu_4OCl_{10}$ (Вергасова и др., 1988), галит с сильвинном и редкие тончайшие чешуйки самородного золота (Вергасова и др., 1982). Температура поверхности отбора проб соответствовала 180—230 °С.

Образует скопления хорошо образованных кристаллов тонкотаблитчатого до слюдоподобного габитуса (рис. 1,а). Размер кристаллов до 5 мм (обычно ≈ 1 мм) в плоскости уплощения (по удлинению) и составляет 0.01—0.10 мм по их толщине. Кристаллы имеют псевдогексагональный облик (рис. 1,б) с раз-

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 27 марта 1987 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 28 сентября 1987 г.

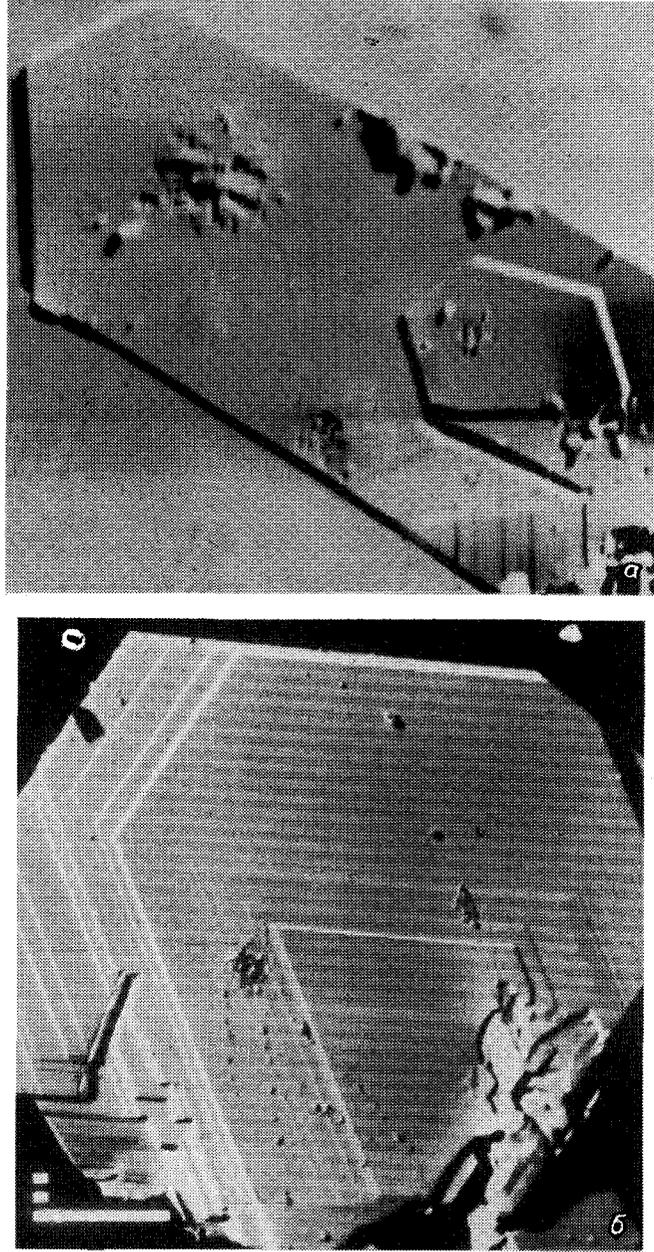


Рис. 1. Кристаллы софита.

a — форма выделения, увел. 380; *б* — послойный рост кристаллов, увел. 200. Изображение во вторичных электронах. Микрозонд «Камебакс».

витыми гранями пинакоида $\{010\}$ и менее развитыми гранями пикакоида $\{100\}$ и призмы $\{101\}$. Часто таблички вытянуты по оси c , а грани призмы развиты неодинаково, что приводит к асимметричному псевдогексагональному контуру. Измеренный угол между гранями призмы $\{101\}$ равен $106.6(10)^\circ$, вычисленный по параметрам элементарной ячейки — $105.5(1)^\circ$. Наблюдается штриховка,

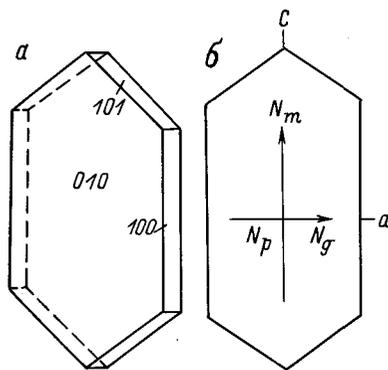


Рис. 2. Схематическое изображение кристалла (а) и оптическая ориентировка (б) софнита.

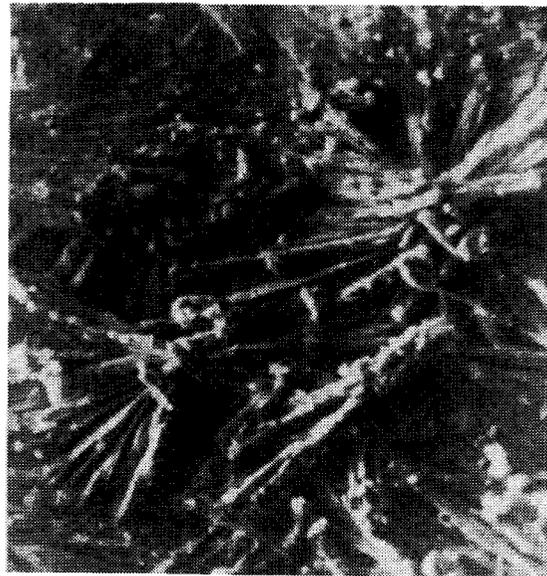


Рис. 3. Радиально-лучистый агрегат продуктов разрушения софнита.

Изображение во вторичных электронах. Микронд «Камебакс», увел. 350.

отражающая послойный рост кристаллов (рис. 1, б). Образует двойники по (100) типа «ласточкин хвост».

Кристаллы бесцветные, прозрачные, цвет черты белый. Блеск стеклянный до жирного с шелковистым. Определение твердости минерала проведено на кафедре минералогии Ленинградского университета (совместно с Г. А. Ильинским). Микротвердость (ПМТ-3, $P=0.010$ кг, $n=14$) $61-38$ кг/мм², $H_{cp}=48$ кг/мм² (класс твердости 2.4). Разброс значений микротвердости обусловлен плохим качеством отпечатков. Минерал весьма хрупкий, поскольку уже при нагрузке $P=0.005$ кг появляются трещинки хрупкого разрыва. Спайность весьма совершенная по пинакoidу (010) и менее совершенная по призме (201).

Двуосный, оптически положительный, удлинение отрицательное. Не плеохроит, оптических дисперсий не проявляет. Погасание прямое относительно удлинения и симметрично относительно граней призмы. Плоскость оптических осей (001), $Ng=a$, $Nm=c$, $Np=b$ (рис. 2, б); $Ng=1.750(2)$, $Nm=1.726(2)$, $Np=1.709(3)$, $Ng-Np=0.041$, $2V_{выч}=81^\circ$. Зерна минерала через 10—15 мин разлагались в иммерсионных жидкостях, приготовленных на основе α -хлорнафталина и йодистого метилена. При этом зерна темнели, разрушались их края, в скрещенных николях отчетливо становились видны радиально-лучистые новообразования. Учитывая это обстоятельство, показатели преломления измерялись на большом числе препаратов в течение 3—5 мин каждый.

Минерал неустойчив. На воздухе в течение нескольких часов пластинки становятся мутно-белыми, изгибаются и разбухают. Продукты разрушения представлены радиально-лучистыми агрегатами (рис. 3). После длительной выдержки на воздухе цвет пластинок изменяется до небесно-голубого. В воде растворяется с трудом, хорошо растворяется в разбавленных кислотах. В течение нескольких минут реагирует с иммерсионными жидкостями стандартного набора и с жидкостью Клеричи.

Рентгенографическое исследование монокристаллов осуществлено фотометодом с использованием рентгенгонометра РГНС-2 и медного излучения. Монокристалл, уплощенный по (010) (рис. 2, а), вращался вокруг оси c . Рентгенограммы качания и рентгенгонометрические развертки 0, 1, 2 и 3-й слоевых линий свидетельствуют о принадлежности минерала к ромбической сингонии, точечной группе mmm , пространственной группе $Pccn$, $Z=8$. Структура мине-

Дебаеграмма софнита

I/I_1	$d_{изм.}, \text{Å}$	$d_{выч.}, \text{Å}$	hkl	I/I_1	$d_{изм.}, \text{Å}$	$d_{выч.}, \text{Å}$	hkl
1	8.49	8.50	110	3	2.276	2.279	332
100	7.61	7.61	020			2.274	260
1	5.124	5.126	200			2.273	350
2	4.544	4.548	130	4	2.130	2.130	402
<1	4.244	4.251	220			2.127	170
1	3.905	3.911	131	<1	2.049	2.052	422
23	3.807	3.806	040			2.050	171
1	3.714	3.718	221			2.048	441
		3.717	012	<1	1.958	1.960	243
2	3.591	3.590	102			1.956	262
1	3.337	3.334	310			1.955	352
6	3.237	3.235	141	2	1.899	1.903	080
8	3.055	3.058	032			1.902	014
		3.058	311			1.901	530
		3.055	240			1.900	451
12	2.918	2.918	150			1.898	333
1	2.834	2.834	330	2	1.891	1.891	072
4	2.727	2.728	151	<1	1.830	1.829	124
1	2.627	2.626	232			1.828	253
1	2.560	2.563	400	1	1.817	1.818	181
6	2.538	2.537	060	1	1.736	1.737	281
3	2.479	2.477	251	1	1.625	1.625	381
1	2.429	2.429	420			1.624	244
1	2.419	2.418	322	3	1.5218	1.5222	0.10.0
1	2.388	2.389	242			1.5219	472
		2.384	052	2	1.4773	1.4775	1.10.1
<1	2.358	2.358	123	2	1.4589	1.4592	2.10.0
						1.4578	710

рала определена с использованием автоматического монокристалльного дифрактометра $P2_1$ ($R=0.049$). Основу структуры составляют вытянутые $Zn(O, Cl)_6$ -октаэдры, связанные ребром с изолированными друг от друга треугольниками $(SeO_3)^{2-}$. Соединяясь между собой вершинами, эти фрагменты образуют слой, параллельный плоскости (010). Между собой слои соединяются пятивершинниками $Zn(O, Cl)_5$. Определение кристаллической структуры позволило выявить тройную координацию атомов селена, т. е. отнести софнит к селенитам с дополнительным анионом, а не к селенатам, как это вначале было предположено по результатам микронзондового химического анализа.

Исследование порошков проводилось на дифрактометре ДРОН-2 в $Co_{K\alpha}$ -излучении с германием в качестве внутреннего эталона и без эталона. Препарат готовился методом осаждения порошка из суспензии в гексане. Поскольку минерал неустойчив на воздухе, сразу же провели повторную съемку, которая не выявила заметных изменений в дифракционной картине. Дебаеграмма (см. таблицу) проиндцирована с использованием параметров ячейки, измеренных на монокристалле. Следует отметить, что интенсивности рефлексов искажены за счет весьма совершенной спайности по (010). Уточненные по дебаеграмме методом наименьших квадратов параметры элементарной ячейки $a=10.251(4)$, $b=15.223(2)$, $c=7.666(5)$ Å, $V=1196(1)$ Å³ — хорошо согласуются с данными, полученными на монокристалльном дифрактометре. Основные диагностические линии на дебаеграмме ($I-d-hkl$): 100—7.61—020, 23—3.807—040, 6—3.237—141, 8—3.055—032, 311, 240, 12—2.918—150, 4—2.727—151, 6—2.538—060, 3—2.479—251, 3—2.276—332, 260, 350, 4—2.130—402, 170. Дебаеграмма отличается от приведенной в реферате, прошедшем апробацию в Международной комиссии по новым минералам, отсутствием пиков примесной фазы котуннита. Она богаче

рефлексами софиита, что, вероятно, связано с лучшей разориентировкой частиц в препарате.

Дебаграмма, снятая от того же препарата, хранившегося в среде воздуха в течение нескольких часов, заметно отличается от исходной. От софиита сохраняются только сильные рефлексы типа $0k0$, причем их интенсивность сильно уменьшена. Остальные пики принадлежат новообразованиям.

Химический анализ софиита, выполненный на микрозонде «Камебакс»,² дал следующие результаты (38 определений, I конус, проба 1987 г.):³ ZnO 47.83 (45.90—51.40), SeO₂ 34.48 (32.69—36.63), CuO 0.19 (0—0.75), PbO 0.35 (0—0.86), Cl 22.26 (20.44—23.72), O=Cl₂ — 5.02 (4.61—5.35); сумма 100.09 (98.09—102.00) мас.%. Эмпирическая формула (расчет по O+Cl=5) $(Zn_{1.92}Cu_{0.01}Pb_{0.01})_{\Sigma 1.94}(Se_{1.02}O_{2.94})Cl_{2.06}$ хорошо согласуется с результатами структурного анализа и близка к идеальной формуле $Zn_2(SeO_3)Cl_2$, согласно которой ZnO 49.53, SeO₂ 33.76, Cl 21.58, O=Cl₂ — 4.87; сумма 100.00 мас.%.
Химический состав минерала варьирует слабо, постоянными незначительными примесями являются медь и свинец. В пределах пластинок распределение минералообразующих элементов практически равномерное.

Плотность, вычисленная в соответствии с эмпирической химической формулой для $Z=8$, равна 3.64(1) г/см³. Экспериментальное значение плотности определить не удалось из-за быстрого изменения минерала. Установлено, что пластинки минерала тонут в иодистом метиле (плотность 3.35 г/см³) и всплывают в жидкости Клеричи (плотность 4.17 г/см³).

Минерал назван софиитом (sophiite) по имени Софьи Ивановны Набоко — известной исследовательницы вулканов Камчатки.

По составу и рентгеновским данным аналогов среди природных и искусственных соединений не имеет. Образец передан в Горный музей Ленинградского горного института.

Литература

- Большое трещинное Толбачинское извержение / Под ред. С. А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.
- Вергасова Л. П., Набоко С. И., Серафимова Е. К. и др. Эксгалиционное самородное золото // ДАН СССР. 1982. Т. 264, № 1. С. 201—204.
- Вергасова Л. П., Филатов С. К., Серафимова Е. К., Семенова Т. Ф. Пономаревит $K_4Cu_4OCl_{10}$ — новый минерал из вулканических возгонов // ДАН СССР. 1988. Т. 300, № 5. С. 1197—1200.
- Набоко С. И., Главатских С. Ф. Постэруптивный метасоматоз и рудообразование. М.: Наука, 1983. 166 с.
- Рид. С. Электронно-зондовый анализ. М.: Мир, 1979. 327 с.
- Семенова Т. Ф., Филатов С. К., Вергасова Л. П., Петухова В. В., Доброскок Т. А. Эксгалиционный котуннит $PbCl_2$ — первая находка в СССР // Мин. журн. 1988. № 5. С. 92—96.

Институт вулканологии ДВО АН СССР,
Петропавловск-Камчатский,
Ленинградский университет.

Поступила в редакцию
5 сентября 1988 г.

² Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток образца 25 нА, экспозиция 5 с, эталоны — чистый металл Cu, PbS (на Pb), ZnO (на Zn), $Ca_5(PO_4)_3Cl$ (на Cl), ZnSe (на Se), FeS (на S); аналитические линии для Pb и Se — L_{α} , для остальных элементов — K_{α} ; пересчет относительных интенсивностей на концентрации проводился по программе «MBXCOR» с массовыми коэффициентами поглощения по Риду (Рид, 1979). Примесь S не обнаружена.

³ В реферате, представленном на рассмотрение КНМ ММА, приведены результаты 9 определений (II конус, проба 1985 г.): Zn 37.28, Se 23.77, Cu 0.22, Pb 0.18, Cl 20.38, сумма 81.83 мас.%. Пересчет первоначально проводился на высшую валентность атомов Se⁶⁺ и дал следующий средний состав: ZnO 46.40, SeO₃ 38.21, CuO 0.27, PbO 0.19, Cl 20.38, O=Cl₂ 4.60; сумма 100.85 мас.%.
69