

Серебросодержащий тетраэдрит-(Cd) из кварцевых жил Точильногорского месторождения – первая находка на Урале

©2025 В. С. Пономарев[✉], Ю. В. Ерохин, Л. В. Леонова

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН,
ул. Академика Вонсовского, 15, 620110, Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация

Введение: тетраэдрит-(Cd) имеет формулу $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Cd}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{12}\text{S}_1$ и является редким минералом, обычно образуя выделения в доли мм. На сегодняшний день минерал известен примерно в семнадцати месторождениях и рудопрооявлениях в мире. В России находки тетраэдрита-(Cd) известны в двух местах: в Змеиногорском месторождении в Алтайском крае и в рудопрооявлении «Красное» в Бодайбинском районе Иркутской области. В настоящей работе приводится описание первой находки серебросодержащего тетраэдрита-(Cd) из Точильногорского месторождения на Урале. Точильногорское месторождение огнеупорного камня находится в Режевском районе Свердловской области примерно в 500 м от села Точильный ключ.

Методика: химический состав тетраэдрита-(Cd) проанализирован в полированных шайбах с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA LMS (S6123) с ЭДС приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 (Oxford Instruments) в ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик Л. В. Леонова.

Результаты: тетраэдрит-(Cd) встречен в виде включений в кристаллах горного хрусталя в полостях кварцевой жилы, где отмечаются скопления англесита, церуссита и кристаллы крокоита. Тетраэдрит-(Cd) образует изометричные зерна размером до 8 мкм в сростании с более крупным галенитом, размером не более 60 мкм. Химический состав блеклой руды немного варьирует в пределах одного зерна. Минерал содержит большое количество серебра от 7.02 до 8.36 мас.% и в одном анализе отмечается примесь теллура 1.15 мас.%.

Заключение: впервые на Урале в старинном Точильногорском месторождении, расположенном в Режевском районе Свердловской области, встречен серебросодержащий тетраэдрит-(Cd). Минерал образует сростания с галенитом в кристаллах горного хрусталя в полостях кварцевых жил в ассоциации с крокоитом, англеситом и церусситом. Из-за большого количества серебра в составе минерала, он относится к серебросодержащей разновидности тетраэдрита-(Cd). Блеклая руда из Точильногорского месторождения близка по составу к тетраэдритам-(Cd) из золоторудного проявления «Красное» в Бодайбинском районе Иркутской области в России и из свинцово-цинковой минерализации рудника Тиндрум в Шотландии. Образование серебросодержащего тетраэдрита-(Cd) происходило в низкотемпературных гидротермальных условиях.

Ключевые слова: тетраэдрит-(Cd), кварцевые жилы, Точильногорское месторождение огнеупорного камня, Точильная гора, Средний Урал

Источник финансирования: Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН, тема № 123011800014-3.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Пономарев Владимир Сергеевич, e-mail: p123v@yandex.ru

Для цитирования: Пономарев В. С., Ерохин Ю. В., Леонова Л. В. Серебросодержащий тетраэдрит-(Cd) из кварцевых жил Точильногорского месторождения – первая находка на Урале // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2025. № 1. С. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/64-70>

Введение

Точильногорское месторождение огнеупорного камня (менее распространенное название «Барские ямы»), отработывавшееся в XVIII–XIX столетиях известно с 1704 года. Здесь добывали «горновой камень», который потом использовался при строительстве доменных печей уральских и других заводов [1]. П. С. Паллас, во время своего путешествия по России в 1770 г. посетил деревню Точильный ключ и отметил, что вблизи её возвышаются пологие холмы, в которых для казенных и Демидовских заводов «ломаются большими слоями и глыбами» песчаник (по современным данным – кварцит) крепкий, белого или желтоватого цвета [2]. Минералогию месторождения в разные годы изучали такие исследователи как: П. С. Паллас, А. Ф. Гумбольдт, Х. Г. Эренберг, Г. Розе, А. Ф. Бушмакин, В. И. Кайнов, Д. А. Ханин и многие другие. Находки великолепных образцов с кристаллами крокоита (второе место находки крокоита в мире [2], после Березовского золоторудного месторождения) и их друз на горном хрустале или березите сделали это месторождение уникальным и привлекательным для исследователей и любителей камня со всего мира.

Тетраэдрит-(Cd) имеет формулу $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Cd}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{12}\text{S}_1$ и является редким минералом, обычно образуя выделения в доли мм. В связи с тем, что номенклатура и классификация группы тетраэдрита была пересмотрена Международной минералогической ассоциацией в 2019 году [3] и были выделены новые конечные члены группы, то «официальным» первым описанием тетраэдрита-(Cd) служит работа [4]. Но находки минерала с подобным составом были известны и ранее [5–13 и др.]. На сегодняшний день минерал известен примерно в семнадцати месторождениях и рудопроявлениях в мире. В России находки тетраэдрита-(Cd) в настоящее время известны в двух местах: в Змеиногорском месторождении в Алтайском крае [4] и в рудопроявлении «Красное» в Бодайбинском районе Иркутской области [10]. В Змеиногорском месторождении минерал был установлен при исследовании образца, отобранного в 1930 г., который находится в Государственном геологическом музее им. В. И. Вернадского РАН в г. Москва (номер МН-00683). В этом образце тетраэдрит-(Cd) образует участки размером до 0.05 мм в тетраэдрите-(Zn) в ассоциации с акантитом, ковеллином, купрополибазит, галенитом, золотом, имитеритом, маккинстриитом, сфалеритом, стромейеритом, тетраэдритом-(Hg) и тетраэдритом-(Mn) [4]. В работе Е. Е. Паленовой с коллегами сульфосоль из рудопроявления

Красного названа Cd-фрейбергитом, при этом приведена только его эмпирическая формула, которая отвечает серебросодержащему тетраэдриту-(Cd). Выделения минерала из Бодайбинского района представляют собой «мирмекитоподобные вrostки» в галените размером до 25 мкм и ассоциируют с бенлеонардитом [10]. При этом химический состав этого тетраэдрита приведен в другой работе [13]

В настоящей работе приводится описание первой находки серебросодержащего тетраэдрита-(Cd) из Точильногорского месторождения на Урале.

Объект исследования

Точильногорское месторождение огнеупорного камня находится в Режевском районе Свердловской области примерно в 500 м от села Точильный ключ. В геологическом отношении месторождение находится в пределах восточного крыла Мурзинско-Адуйского антиклинория и представлено серией даек березитизированных гранит-порфиров, секущих метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы, кварциты и серпентиниты, превращенные в тальковые и тальк-карбонатные породы (рис. 1). Дайки березитов содержат маломощные кварцевые жилы лестничного типа, выполненные массивным и друзовидным кварцем среднезернистой структуры. Отмечается, что сульфидно-кварцевая минерализация сопровождается незначительной золотоносностью [14]. В кварцевых жилах отмечается редкая вкрапленность галенита, пирита, сфалерита, халькопирита и акантита. Среди гипергенных минералов выделяются гетит, англезит, церуссит, крокоит, яровит и другие.

На сегодняшний день на этом месте среди густого леса сохранились два карьера на расстоянии от 350 до 500 м от деревни, несколько траншей и отвалы. На Точильногорском месторождении тетраэдрит-(Cd) нами встречен при изучении образцов, отобранных в ходе полевых работ в 2023–2024 гг.

Метод исследования

Аналитические исследования, представленные в данной работе проведены в лаборатории физико-химических методов исследования Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. Химический состав тетраэдрита-(Cd) проанализирован в полированных шайбах с углеродным напылением с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA LMS (S6123) с ЭДС приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 (Oxford Instruments) с ускоряющим напряжением 20 кВ, временем экспозиции 5 мс на пиксель и программным обеспечением AZtecOne. Источник электронов: автоэмиссионный катод Шоттки. Режим высокого вакуума HighVac™: 10–3 Па. Разрешение электронной колонны в режиме высокого вакуума 1.2 нм при 30 кВ, детектор SE, аналитик Л. В. Леонова. На этом же приборе получены фотографии минерала в режиме обратно-рассеянных электронов.

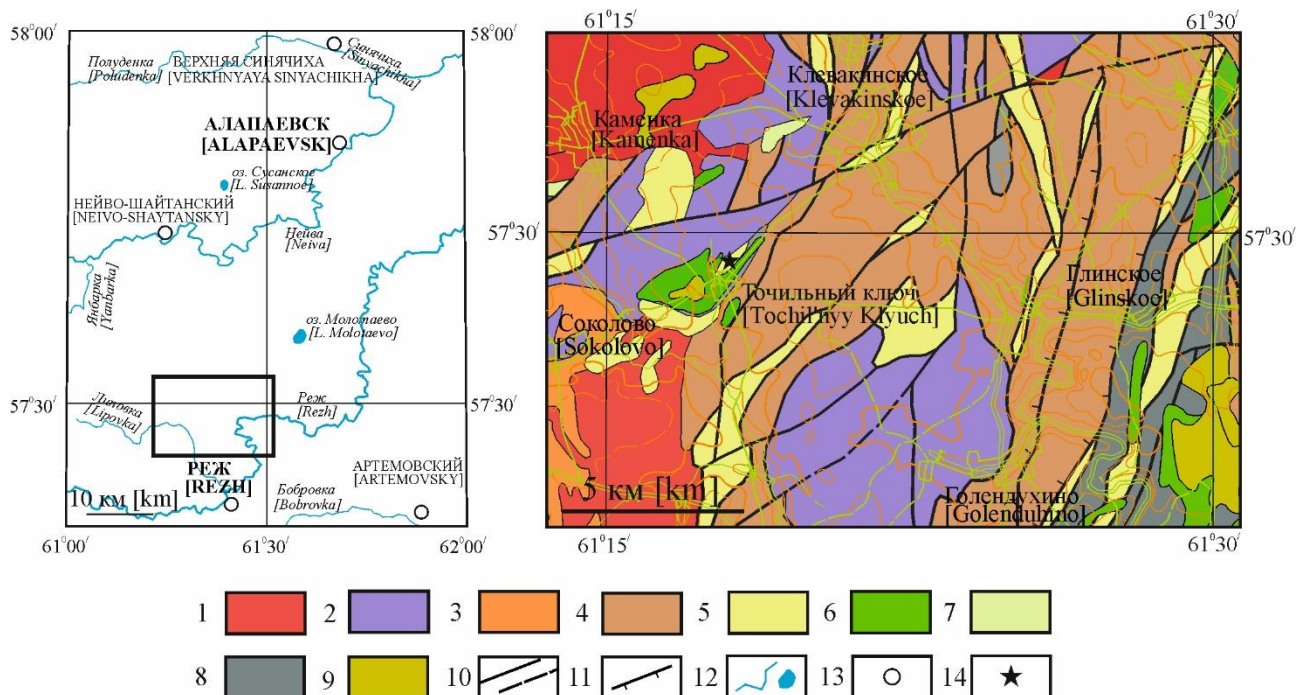


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Режевского района [15] с дополнениями авторов. Условные обозначения: 1 – лейкограниты, граниты биотитовые, гранодиориты, кварцевые диориты; 2 – дуниты, гарцбургиты и серпентиниты; 3 – монцодиориты, монцогаббро; 4 – вулканогенно-осадочные породы: базальты, андезитобазальты, вулканические туфы; 5 – восточно-уральский тектонический комплекс, полимиктовый серпентинитовый меланж (в линзах тальк-карбонатные породы, серпентиниты, диориты, гранодиориты, метавулканики, кварциты); 6 – габбро, габбро-диориты; 7 – биотит-кварцевые, серицит-кварцевые сланцы с линзами кварцитов, туфопесчаников и мраморов; 8 – известняки, песчаники, туфопесчаники; 9 – глины и кварцевые пески (четвертичные отложения); 10 – тектонические нарушения; 11 – надвиги; 12 – реки и озера; 13 – населенные пункты, 14 – Точильногорское месторождение.

[Fig. 1. Schematic geological map of the Rezhevsky district [15] with additions by the authors. Legend: (1) – leucogranites, biotite granites, granodiorites, quartz diorites; (2) – dunites, harzburgites and serpentinites; (3) – monzodiorites, monzogabbro; (4) – volcanogenic-sedimentary rocks: basalts, basaltic andesites, volcanic tuffs; (5) – East Ural tectonic complex, polymictic serpentinite melange (talc-carbonate rocks, serpentinites, diorites, granodiorites, metavolcanics, quartzites in lenses); (6) – gabbro, gabbro-diorites; (7) – biotite-quartz, sericite-quartz schists with lenses of quartzite, tuff sandstones and marbles; (8) – limestones, sandstones, tuff sandstones; (9) – hydromica-kaolinite clays and quartz sands (Quaternary deposits); (10) – tectonic faults; (11) – thrusts; (12) – rivers and lakes; (13) – populated areas, (14) – Tochnilnogorsk deposit.]

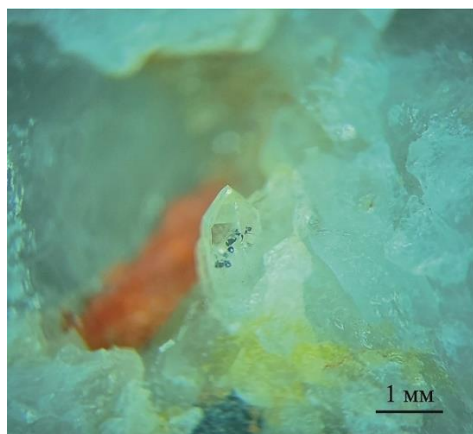


Рис. 2. Кристалл горного хрусталя с включениями галенита в полости жильного кварца. Фото В. С. Пономарева.

[Fig. 2. Rock crystal with inclusions of galena in the cavity of vein quartz. Photo by V. S. Ponomarev.]

Результаты исследования

Тетраэдрит-(Cd) встречен в виде включений в кристаллах горного хрусталя (рис. 2) в полостях кварцевой жилы, где отмечаются скопления англезита, церуссита

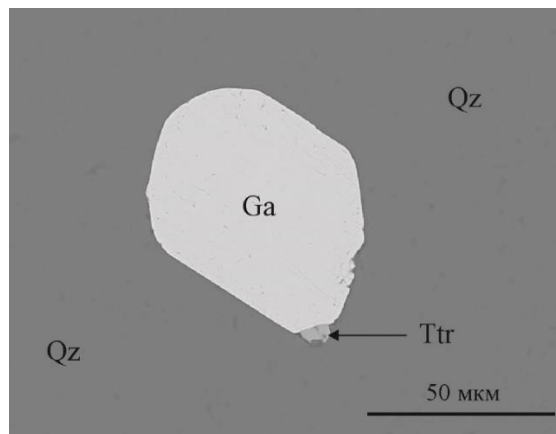


Рис. 3. Срастание галенита и тетраэдрита-(Cd) в кварце. Ttr – тетраэдрит, Gn – галенит. BSE-фото.

[Fig. 3. Intergrowth of galena and tetrahedrite-(Cd) in quartz. Ttr – tetrahedrite, Gn – galena. BSE-photo.]

и кристаллы крокоита. Тетраэдрит образует изометричные зерна размером до 8 мкм в срастании с более крупным галенитом, размером около 60 мкм (рис. 3). Химический состав галенита отвечает теоретическому,

примесей не содержит.

Химический состав тетраэдрита-(Cd) немного варьирует в пределах одного зерна (табл. 1). Содержание меди изменяется от 29.30 до 31.86 мас.%, кадмия от 11.31 до 11.97 мас.%, сурьмы от 26.22 до 27.07

мас.%. Количество серы колеблется от 22.64 до 23.44 мас.%. Тетраэдрит-(Cd) содержит большое количество серебра от 7.02 до 8.36 мас.% и в одном анализе отмечается примесь теллура 1.15 мас.% (табл. 1, ан. 6).

Табл. 1. Химический состав (в мас.%) тетраэдрита-(Cd) из Точильногорского месторождения
[Table 1. Chemical composition (in wt.%) of tetrahedrite-(Cd) from the Tochilnogorsk deposit]

№	S	Cu	Ag	Cd	Sb	Te	Сумма [Sum]
1	23.44	31.16	7.02	11.31	27.07	-	100.00
2	22.83	31.65	7.88	11.41	26.23	-	100.00
3	22.48	31.86	7.92	11.52	26.22	-	100.00
4	22.93	30.14	8.36	11.74	26.83	-	100.00
5	23.35	31.59	7.10	11.62	26.34	-	100.00
6	22.64	29.30	7.94	11.97	27.01	1.15	100.00
Кристаллохимические формулы, рассчитанные на 29 атомов [Chemical formulas calculated for 29 atoms]							
1	$(\text{Cu}_{4.83}\text{Ag}_{1.17})\Sigma 6.00(\text{Cu}_{4.01}\text{Cd}_{1.81})\Sigma 5.82\text{Sb}_{4.01}\text{S}_{12}\text{S}_{1.17}$						
2	$(\text{Cu}_{4.68}\text{Ag}_{1.32})\Sigma 6.00(\text{Cu}_{4.35}\text{Cd}_{1.84})\Sigma 6.19\text{Sb}_{3.91}\text{S}_{12}\text{S}_{0.90}$						
3	$(\text{Cu}_{4.66}\text{Ag}_{1.34})\Sigma 6.00(\text{Cu}_{4.46}\text{Cd}_{1.86})\Sigma 6.32\text{Sb}_{3.92}\text{S}_{12}\text{S}_{0.76}$						
4	$(\text{Cu}_{4.59}\text{Ag}_{1.41})\Sigma 6.00(\text{Cu}_{4.05}\text{Cd}_{1.90})\Sigma 5.95\text{Sb}_{4.02}\text{S}_{12}\text{S}_{1.03}$						
5	$(\text{Cu}_{4.81}\text{Ag}_{1.19})\Sigma 6.00(\text{Cu}_{4.14}\text{Cd}_{1.86})\Sigma 6.00\text{Sb}_{3.89}\text{S}_{12}\text{S}_{1.11}$						
6	$(\text{Cu}_{4.65}\text{Ag}_{1.35})\Sigma 6.00(\text{Cu}_{3.82}\text{Cd}_{1.96})\Sigma 5.78(\text{Sb}_{4.08}\text{Te}_{0.17})\Sigma 4.25\text{S}_{12}\text{S}_{0.97}$						

Обсуждение результатов

Исследуемый серебросодержащий тетраэдрит-(Cd) из Точильногорского месторождения по содержанию кадмия (11.31–11.97 мас.%) близок к конечному кадмиевому члену (Cd 12.74 мас.%) и к тетраэдриту-(Cd) из рудопоявления «Красное» (Cd 12.31 мас.%), в то время как в минерале из Змеиногорского месторождения количество кадмия существенно ниже (Cd 5.59–8.73 мас.%). Концентрация серебра в минерале (Ag/(Ag+Cu) составляет 0.12–0.14, которое входит в позицию «А» в общей формуле тетраэдритов $M_2(A_6)^{M1}(B_4C_2)^{X3}(D_4)^{S1}(Y_{12})^{S2}(Z)$. В нашем случае минерал содержит только примеси серебра (Ag 7.02–8.36 мас.%) и в одном случае теллура (Te 1.15 мас.%), в то время как для сульфосоли из Змеиногорского месторождения и рудопоявления «Красное» характерны близкое количество примеси серебра (Ag 6.03–7.55 мас.% и 6.12 мас.% соответственно) и присутствие дополнительных примесей марганца, железа, цинка и мышьяка для Змеиногорского рудопоявления, а также мышьяка и свинца для рудопоявления «Красное» [4, 13]. В целом для тетраэдрита-(Cd) характерно наличие примеси серебра вплоть до образования собственного серебряного конечного члена аргентотетраэдрита-(Cd). [4, 13 и др.]. Из собственно серебросодержащих минералов на Точильногорском месторождении нами встречен акантит, который образует скопления зерен неправильной формы до 0,5 мм на англезите, включения в халькопирите, пирите и субмикронные каймы по периферии зерен сфалерита. Также серебро в виде примеси содержит вторичный сульфид меди ярровит (Ag

до 2.16 мас.%), который встречается в виде отдельных зерен в англезите и образует каймы вокруг сфалерита. Из других кадмийсодержащих минералов, нами на месторождении установлен сфалерит, который содержит существенную примесь Cd до 2.54 мас.%.

Из мировых находок минерала серебросодержащий тетраэдрит-(Cd) из Точильногорского месторождения по составу близок некоторым образцам из свинцово-цинковой минерализации рудника Тиндрум в Шотландии [5].

Температура образования серебросодержащего тетраэдрита-(Cd) по литературным данным оценивается в 170–140°C [13] и 205–170°C [12], то есть минералообразование происходило в низкотемпературных гидротермальных условиях. В Точильногорском месторождении тетраэдрит-(Cd) также образуется на одном из поздних этапов минералообразования в мелких кристаллах горного хрусталя.

Заключение

Таким образом, впервые на Урале в старинном Точильногорском месторождении огнеупорного камня, расположенном в Режевском районе Свердловской области встречен серебросодержащий тетраэдрит-(Cd). Минерал образует сростания с галенитом в кристаллах горного хрусталя в друзовых полостях кварцевых жил в ассоциации с крокоитом, англезитом и церусситом. Из-за большого количества серебра в составе минерала, он относится к серебросодержащей разновидности тетраэдрита-(Cd). Серебросодержащий тетраэдрит-(Cd) из Точильногорского месторождения близок по

составу к минералу из золоторудного проявления «Красное» в Бодайбинском районе Иркутской области в России и из свинцово-цинковой минерализации в Тиндрум в Шотландии. Образование серебросодержащего тетраэдрита-(Cd), происходило в низкотемпературных гидротермальных условиях.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рундквист Н. А., Задорина О. В. Свердловская область. Иллюстрированная краеведческая энциклопедия. Екатеринбург: Изд-во Азимут, 2009. 456 с.
2. Паллас П. С. Путешествие по разным местам Российского государства. 1786. Т. 2. Санкт-Петербург. 476 с.
3. Biagioni C. G., Luke L., Cook N. J., Makovicky E., Moëlo, Yves, Pasero, Marco, Sejkora, Jiří, Stanley, C. J., Welch, M. D., Bosi F. The tetrahedrite group: Nomenclature and classification // *American Mineralogist*. 2020. 105 (1) P. 109–122. doi:10.2138/am-2020-7128
4. Sejkora J., Biagioni C., Škácha P., Musetti S., Kasatkin A. V., Nestola F. Tetrahedrite-(Cd), $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Cd}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, from Radějice near Příbram, Czech Republic: the new Cd member of the tetrahedrite group // *Eur. J. Mineral.* 2023. 35. P. 897–907. doi:10.5194/ejm-35-897-2023, 2023.
5. Patrick R. A. D. Microprobe Analyses of Cadmium-Rich Tetrahedrites from Tyndrum, Perthshire, Scotland // *Mineralogical Magazine*. 1978. Vol. 42. P. 286–288.
6. Patrick, Richard A. D. Pb-Zn and minor U mineralization at Tyndrum, Scotland // *Mineralogical Magazine*. 1985. 49 (354). P. 671–681. doi:10.1180/minmag.1985.049.354.06
7. Jia D., Fu Z., Zhang H., Zhao C. The first discovery of Cd-freibergite in China // *Acta Mineralogica Sinica*. 1988. 8(2). P. 136–137.
8. Воропаев А. В., Спиридонов Э. М., Щибрик В. И. Тетраэдрит-Cd – первая находка в СССР // *Доклады АН СССР*. 1988. Т. 300. №6. С. 1446–1448.
9. Pascua, M. I., Murciego, A., Pellitero, E., Babkine, J., Dusausoy, Y. Sn-Ge-Cd-Cu-Fe-bearing sulfides and sulfosalts from the Barquilla deposit, Salamanca, Spain // *The Canadian Mineralogist*. 1997. 35(1). P. 39–52.
10. Паленова Е. Е., Блинов И. А., Заботина М. В. Минералы серебра в кварцевых жилах рудопоявления золота Красное (Бодайбинский район) // *Минералогия*. 2015. № 2. С. 9–17.
11. Bayerl R., Desor J., Möhn G. New Minerals for the Clara Mine (Oberwolfach). 2022. <https://www.mindat.org/article.php/4241/New+Minerals+for+the+Clara+mine%2C+Oberwolfach%2C+Germany> (дата обращения: 07.01.2025)
12. Vlasáč J., Mikuš T., Majzlan J., Števkó M., Biroň A., Szczerba M., Milovský R., Žitňan P. Mineralogy and evolution of the epithermal mineralization in the Rudno nad Hronom-Brehy ore deposit, Štiavnické vrchy Mts. (Slovakia) // *Journal of Geosciences*. 2024. 21–47. doi:10.3190/jgeosci.380
13. Lyubimtseva N. G., Bortnikov N. S., Gekimyants, V. M., Borisovsky, S. E., Plechov P. Yu. Ag-bearing tetrahedrite-(Cd), $(\text{Cu},\text{Ag})_6(\text{Cu}_4\text{Cd}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, from the galena-fluorite Kon-Dara mineral deposit (Southwestern Pamirs): The first discovery in Tajikistan // *Dokl. Earth Sc.* 2024. 518. P. 1679–1693. doi:10.1134/S1028334X24603286.
14. Бушмакин А. Ф., Кайнов В. И. Крокоит из месторождения Точильная гора на Среднем Урале // *Минералогия и петрография Урала*. 1978. Вып. 1. С. 63–71
15. Казаков И. И., Стороженко Е. В., Харитонов И. Н., Стефановский В. В., Козьмин С. В., Мартынов С. Э., Фадеичева И. Ф., Коровко А. В., Ронкин Ю. Л. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Средне-Уральская. Лист О-41-XX (Алапаевск). Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018. 456 с.

Silver-bearing tetrahedrite-(Cd) from quartz veins of the Tochilnogorsk deposit – the first find in the Urals

©2025 V. S. Ponomarev✉, Yu. V. Erokhin, L. V. Leonova

*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Akademika Vonsovskiy str. 15,
620110, Ekaterinburg, Russian Federation*

Abstract

Introduction: tetrahedrite-(Cd) has the formula $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Cd}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{12}\text{S}_1$ and is a rare mineral, usually forming precipitates of fractions of a mm. To date, the mineral is known in about seventeen deposits and ore occurrences in the world. In Russia, tetrahedrite-(Cd) is found in two places: in the Zmeinogorsk deposit in the Altai Krai and in the Krasnoye ore occurrence in the Bodaibo District of the Irkutsk Region. This paper describes the first find of silver-bearing tetrahedrite-(Cd) from the Tochilnogorsk deposit in the Urals. The Tochilnogorsk deposit of refractory stone is located in the Rezhevsky District of the Sverdlovsk Region, approximately 500 m from the village of Tochilny Klyuch.

Methodology: the chemical composition of tetrahedrite-(Cd) was analyzed in polished washers using a TESCAN MIRA LMS (S6123) scanning electron microscope with an INCA Energy 450 X-Max 80 (Oxford Instruments) EDS attachment at the Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, analyst L. V. Leonova.

Results: tetrahedrite-(Cd) was encountered as inclusions in rock crystal crystals in cavities of a quartz vein, where accumulations of anglesite, cerussite, and crocoite crystals are noted. Tetrahedrite-(Cd) forms isometric grains up to 8 μm in size intergrown with larger galena, no more than 60 μm in size. The chemical composition of the fahlore varies slightly within one grain. The mineral contains a large amount of silver from 7.02 to 8.36 wt.% and in one analysis an admixture of tellurium of 1.15 wt.%.

Conclusion: for the first time in the Urals, in the ancient Tochilnogorskoye deposit located in the Rezhevsky district of the Sverdlovsk region, silver-bearing tetrahedrite-(Cd) was encountered. The mineral forms intergrowths with galena in rock crystal crystals in the cavities of quartz veins in association with crocoite, anglesite and cerussite. Due to the large amount of silver in the mineral, it belongs to the silver-bearing variety of tetrahedrite-(Cd). Fahlore from the Tochilnogorskoye deposit is close in composition to tetrahedrite-(Cd) from the Krasnoye gold occurrence in the Bodaibo district of the Irkutsk region in Russia and from the lead-zinc mineralization of the Tyndrum mine in Scotland. Formation of silver-bearing tetrahedrite-(Cd) occurred in low-temperature hydrothermal conditions.

Keywords: tetrahedrite-(Cd), quartz veins, Tochilnogorsk refractory stone deposit, Tochilnaya Gora, Middle Urals

Funding: The studies are carried out as a part of the IGG UB RAS State assignment (state registration №123011800014-3).

For citation: Ponomarev V. S., Erokhin Yu. V., Leonova L. V. Silver-bearing tetrahedrite-(Cd) from quartz veins of the Tochilnogorsk deposit – the first find in the Urals // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 1, pp. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/64-70>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Vladimir S. Ponomarev, e-mail: p123v@yandex.ru

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Rundkvist N. A., Zadorina O. V. *Sverdlovskaya oblast'. Illyustrirovannaya krayevedcheskaya entsiklopediya* [Illustrated encyclopedia of local history.]. Yekaterinburg, Azimut publ., 2009, 456 p. (In Russ.)
2. Pallas P. S. *Puteshestviye po raznym mestam Rossiyskogo gosudarstva* [Travels to different places of the Russian State]. S Saint Petersburg publ., 1786, vol. 2, 476 p. (In Russ.)
3. Biagioni C. G., Luke L., Cook N. J., Makovicky E., Moëlo, Yves, Pasero, Marco, Sejkora, Jiří, Stanley, C. J., Welch, M. D., Bosi F. The tetrahedrite group: Nomenclature and classification. *American Mineralogist*, 2020, 105 (1), pp. 109–122. doi:10.2138/am-2020-7128
4. Sejkora J., Biagioni C., Škacha P., Musetti S., Kasatkin A. V., Nestola F. Tetrahedrite-(Cd), $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Cd}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, from Radčice near Příbram, Czech Republic: the new Cd member of the tetrahedrite group. *Eur. J. Mineral*, 2023, 35, pp. 897–907. doi:10.5194/ejm-35-897-2023
5. Patrick R. A. D. Microprobe Analyses of Cadmium-Rich Tetrahedrites from Tyndrum, Perthshire, Scotland. *Mineralogical Magazine*, 1978, vol. 42, pp. 286–288
6. Patrick, Richard A. D. Pb-Zn and minor U mineralization at Tyndrum, Scotland. *Mineralogical Magazine*, 1985, 49 (354), pp. 671–681. doi:10.1180/minmag.1985.049.354.06
7. Jia D., Fu Z., Zhang H., Zhao C. The first discovery of Cd-freibergite in China. *Acta Mineralogica Sinica*, 1988, 8(2), pp. 136–137
8. Voropaev A. V., Spiridonov E. M., Shibrik V. I. Tetrahedrite-Cd – pervaya nahodka v SSSR [Tetrahedrite-Cd – the first discovery in the USSR] // *Reports of the USSR Academy of Sciences – Doklady AN SSSR*, 1988, vol. 300, no. 6, pp. 1446–1448 (In Russ.)
9. Pascua M. I., Murciego, A., Pellitero, E., Babkine, J., & Dusauroy, Y. Sn-Ge-Cd-Cu-Fe-bearing sulfides and sulfosalts from the Barquilla deposit, Salamanca, Spain. *The Canadian Mineralogist*, 1997, 35(1), pp. 39–52
10. Palenova Ye. Ye., Blinov I. A., Zabolina M. V. Mineraly serebra v kvartsevykh zhilakh rudoproyavleniya zolota Krasnoye (Bodaybinskiy rayon) [Silver minerals in quartz veins of the Krasnoe gold ore occurrence (Bodaibo district)] // *Mineralogiya – Mineralogy*, 2015, no. 2, pp. 9–17 (In Russ.)
11. Bayerl R., Desor J., Möhn G. New Minerals for the Clara Mine (Oberwolfach), 2022, <https://www.mindat.org/article.php/4241/New+Minerals+for+the+Clara+mine%2C+Oberwolfach%2C+Germany> (date accessed: 07.01.2025).
12. Vlasáč J., Mikuš T., Majzlan J., Števko M., Biroň A., Szczerba M., Milovský R., Žitňan P. Mineralogy and evolution of the epithermal mineralization in the Rudno nad Hronom-Brehy ore deposit, Štiavnické vrchy Mts. (Slovakia). *Journal of Geosciences*, 2024, 21–47. doi:10.3190/jgeosci.380
13. Lyubimtseva, N. G., Bortnikov N. S., Gekimiyants, V. M., Borisovsky, S. E., Plechov P. Yu. Ag-bearing tetrahedrite-(Cd), $(\text{Cu},\text{Ag})_6(\text{Cu}_4\text{Cd}_2)\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, from the galena-fluorite Kon-Dara mineral deposit (Southwestern Pamirs): The first discovery in Tajikistan. *Dokl. Earth Sc.*, 2024, 518, pp. 1679–1693. doi:10.1134/S1028334X24603286
14. Bushmakin A. F., Kaynov V. I. Krokoit iz mestorozhdeniya Tochil'naya gora na Srednem Urale [Crocoite from the Tochil'naya Gora deposit in the Middle Urals]. *Mineralogiya i petrografiya Urala – Mineralogy and Petrography of the Urals*, 1978, vol. 1, pp. 63–71 (In Russ.)
15. Kazakov I. I., Storozhenko Ye. V., Kharitonov I. N., Stefanovskiy V. V., Koz'min S. V., Martynov S. E., Fadeicheva I. F., Korovko A. V., Ronkin Yu. L. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Sredne-Ural'skaya. List O-41-XX (Alapayevsk). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:200 000. Second edition. Middle Ural Series. Sheet O-41-XX (Alapayevsk). Explanatory note]. Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2018, 456 p. (In Russ.)

Пonomarev Владимир Сергеевич, к.г.-м.н., с.н.с., Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: p123v@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1651-1281>

Ерохин Юрий Викторович, к.г.-м.н., в.н.с., Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: erokhin-yu@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

Леонова Любовь Владимировна, к.г.-м.н., ст.н.с., Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: lvleonova@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7713-8994>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Vladimir S. Ponomarev, PhD in Geol-Min., Senior Researcher fellow, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: p123v@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1651-1281>

Yuriy V. Erokhin, PhD in Geol-Min., Leading Researcher, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: erokhin-yu@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

Lyubov V. Leonova, PhD in Geol-Min., Senior Researcher fellow, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: lvleonova@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7713-8994>

Authors have read and approved the final manuscript.