



Электронная версия доступна на сайте
[www.fmm.ru/Новые данные о минералах](http://www.fmm.ru/Новые_данные_о_минералах)
 Минералогический музей
 имени А.Е. Ферсмана РАН

Н Д М

Новые данные о минералах, том 53, вып. 4 (2019), 95–99

Находка самородного теллура в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан)

Паутов Л.А.^{1,3}, Мираков М.А.², Махмадшариф С.²,
 Карпенко В.Ю.¹, Файзиев А.Р.²

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

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

³Институт минералогии УрО РАН, Миасс

Описывается находка самородного теллура в сублиматах высокотемпературных фумарол на природном подземном угольном пожаре в урочище Кухи-Малик около кишлака Рават на Фан-Ягнобском угольном месторождении в Согдийской области Таджикистана. Теллур представлен хорошо образованными призматическими кристаллами (0.1 мм), на которых наиболее развиты грани $m\{10\bar{1}0\}$, $\bar{e}\{01\bar{1}2\}$, $r\{10\bar{1}1\}$, реже встречаются с $\{0001\}$ и ряд неидентифицированных форм. В ассоциации с теллуrom находятся сульфаты Fe и K, сульфат Tl и K и англезит. Кристаллы теллура зональные, центральная часть обогащена селеном (до 10 мас.%). Приведены физические свойства и основные отражения рентгеновской порошковой диаграммы.

Ключевые слова: самородный теллур, селенсодержащий теллур, изоморфный ряд селен – теллур, минералы возгонов, фумаролы, угольный пожар, Таджикистан, Фан-Ягнобское месторождение, Рават, Кухи-Малик.

Самородный теллур – относительно редкий минерал эпитермальных Ag–Au-месторождений (Рамдор, 1962; Сахарова и др., 1984; Plotinskaya et al., 2006; Спиридонов, 2009; Nakata, Komuro, 2011; Сидоров и др., 2015) и некоторых колчеданных месторождений (Масленников и др., 1997; Викентьев и др., 2008). Описана находка самородного теллура в виде округлых частиц микронного размера в окремнелых породах (продуктах интенсивного кислотного выщелачивания) на высокотемпературном (170–540 °C) фумарольном поле внутри кратера вулкана La Fossa на острове Vulcano в Италии (Fulignati, Sbrana, 1998). Самородный теллур в виде призматических кристаллов размером не более 0.3 мм изучен из фумаролы «Трубка» на 2-м конусе северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения, Камчатка (Главатских, Трубкин, 2003). Упомянуется о находке самородного теллура на вулкане Усу, Япония (Africano, Bernard, 2000).

Сведений о нахождении самородного теллура в возгонах подземных угольных пожаров в доступной литературе найти не удалось.

При проведении полевых работ в 2019 году нами обнаружен самородный теллур в сублиматах природного подземного угольного пожара в урочище Кухи-Малик вблизи кишлака Рават на территории Фан-Ягнобского месторождения коксующихся углей в Айнинском районе Согдийской области Таджикистана. С геологическим строением месторождения и характеристикой подземных угольных пожаров можно ознакомиться по многочисленным публикациям (Ермаков, 1935; Новиков, Супрычев, 1986; Новиков и др. 1989; Охунов и др., 2017 и др.). Минералогии пожаров Фан-Ягнобского месторождения посвящен ряд работ (Ермаков, 1935; Новиков и др., 1979; Новиков, Супрычев, 1986; Балаковский и др., 1988; Балаковский, Москалев, 1988; Новиков и др., 1989; Belakovski, 1990; Nasdala, Pekov,

1993; Сокол и др., 2005; Шарыгин и др., 2009; Мираков и др., 2017; Pautov et al., 2018 и др.).

Самородный теллур встречается в составе сублиматов на обломках обожженных серых алевролитов в зоне дробления и разгрузки горячих газов (температура более 250 °С), выходящих из подземного пожара. Теллур представлен мелкими (до 0.1 мм по удлинению) хорошо образованными кристаллами (рис. 1, 2), нарастающими на корку, преимущественно сложенную недиагностированными сульфатами железа и калия. В ассоциации с самородным теллуrom отмечаются сульфат галлия и калия и англезит. Кристаллы теллура (тригональная сингония, класс симметрии 32) имеют призматический габитус и столбчатый облик. Наиболее развитые на них формы были идентифицированы путем глазомерного сравнения фотографий, полученных на сканирующем электронном микроскопе JSM-35FC, с чертежом идеализированного кристалла в соответствующей ориентировке (рис. 1, 2, 3). Вертикальный пояс кристаллов теллура образован зачатую несколькими призмами, из которых наиболее развита $m \{10\bar{1}0\}$, головка кристаллов образована комбинацией ромбоэдров $\bar{e} \{01\bar{1}2\}$, $r \{10\bar{1}1\}$, а также, вероятно, и других, менее развитых форм. Некоторые кристаллы притуплены гранями пинакоида с $\{0001\}$. Иногда встречаются полногранные двухголовые кристаллы, по морфологии напоминающие кристаллы кварца (рис. 1).

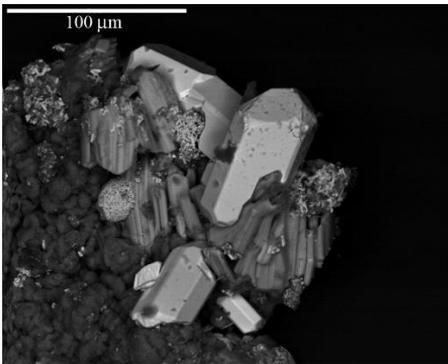


Рис. 1. Призматические кристаллы самородного теллура (светлые) на агрегате сульфата калия и железа (темно-серое) в сростании с сульфатом калия и галлия (серое). Агрегаты мелких разноориентированных таблитчатых кристаллов (светло-серое) – англезит. Изображение в режиме BSE.

Цвет самородного теллура оловянно-белый, блеск сильный металлический. Минерал хрупкий. Твердость по Моосу 2–3. Микротвердость (средняя по 4 замерам), измеренная на микротвердометре ПМТ-3 при нагрузке 5 г, VHN = 29 при разбросе 26–31. Черта (цвет порошка) черная. Минерал в отраженном свете белый со слабым кремовым оттенком, отражательная способность высокая, но несколько ниже, чем у чистого теллура (Чвилева и др., 1988), вероятно, из-за примеси селена (см. ниже). Спектры

отражения, измеренные на микроскопе-спектрофотометре UMSP-50 фирмы Opton по стандарту WTiC, приведены на рис. 4. Двухотражение в воздухе заметное, анизотропия очень сильная со слабыми цветными эффектами от голубоватого до серовато-коричневатого.

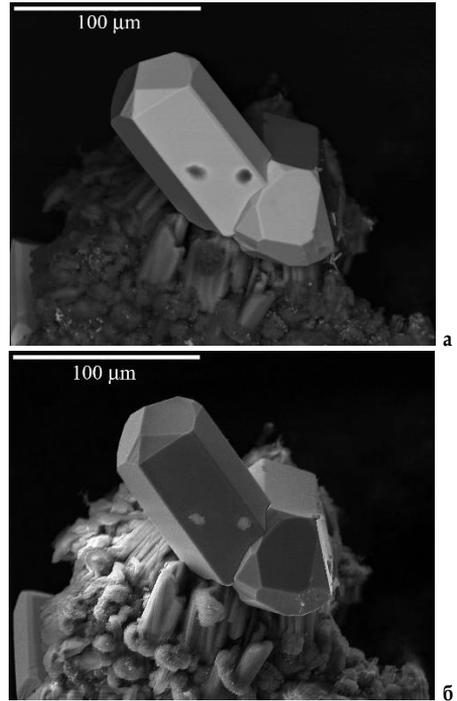


Рис. 2. Сросток призматических кристаллов самородного теллура: а – изображение в режиме BSE, б – изображение в режиме SEI.

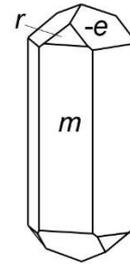


Рис. 3. Чертеж кристалла самородного теллура с наиболее характерными формами (построен в программе KrystalShaper).

Дебаеграмма минерала, полученная на Сг-излучении в камере РКД-57.3, содержит основные отражения, d , Å, (h): 3.21 (10), 2.34 (8), 2.22 (3), 1.613 (2) – и близка к рентгеновской порошковой диаграмме теллура (PDF-2 85-0555).

Химический состав самородного теллура изучался на сканирующем электронном микроскопе JSM-35FC с Si (Li)-энергодисперсионным спектрометром и системой анализа ISIS при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА. Состав мине-

рала изменчив в пределах кристалла (рис. 5): центральная часть кристалла обогащена селеном, к краевым зонам роста содержание селена падает (в некоторых кристаллах во внешних зонах роста селен на уровне чувствительности ЭДС-анализа не обнаруживается). Максимальное содержание селена, зафиксированное в изученных кристаллах, составляет 10 мас.%

В искусственных соединениях теллур с селеном образуют непрерывный ряд твердых растворов, изучение которых было начато более ста лет назад Дж. Пеллини, Дж. Вио и И. Кимата; справедливость этих исследований была подтверждена более поздними работами (Pellini, Vio, 1906; Кудрявцев, 1961; Kotkata et al., 1981). Примесь селена в количестве до 1 вес.% обычна в самородном теллуре из эпitherмальных месторождений (Nakata, Komuro, 2011). Реже встречаются более высокие содержания: так, в Фасцебайе (Румыния), откуда теллур впервые был описан, в нем известно содержание Se до 6.7 мас.% (Foulon, 1885), в теллуре из Ац-месторождения Кайрагач (Кураминский хр., Узбекистан) отмечено до

10.25 мас.% Se (Plotinskaya et al., 2006). Наиболее высокоселеновый теллур (29.3 мас.% Se), называемый в старой литературе «селенотеллуrom», встречается в кварц-баритовых жилах Ag-рудника Эль-Пломо в Гондурасе (Dana, Wells, 1890).

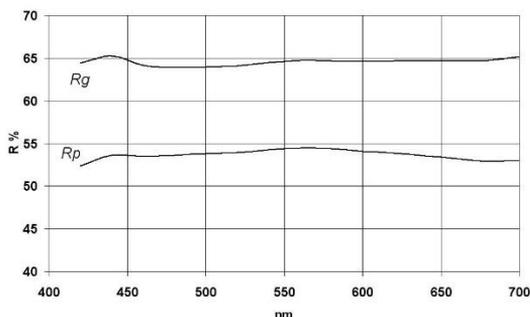
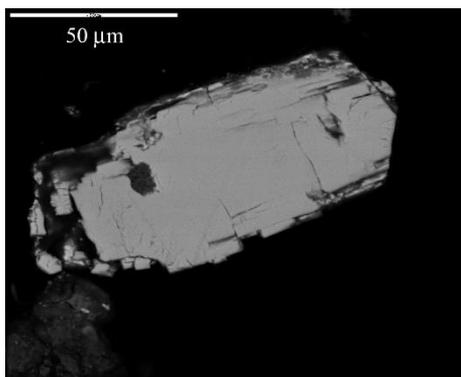
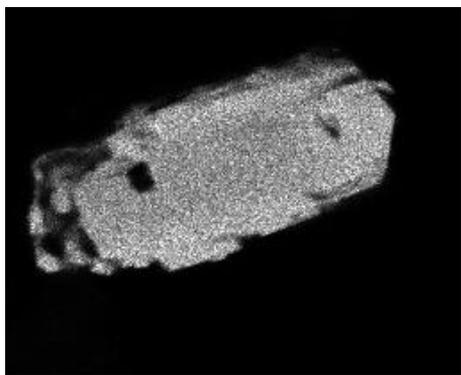


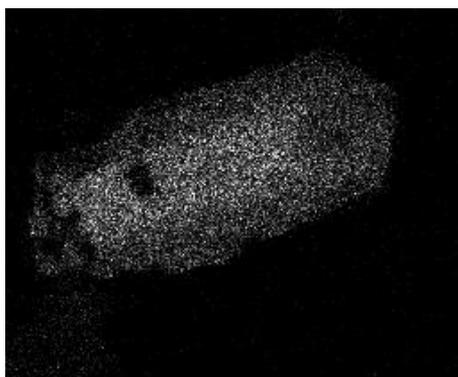
Рис. 4. Спектры отражения самородного теллура из возгонов подземного пожара в Кухи-Малик, полученные с участка диаметром 10 мкм со средним содержанием Se 4 мас.%.



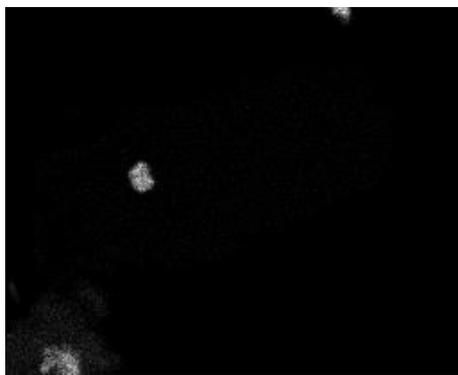
BSE



Te La



Se Kα



Fe Kα

Рис. 5. Изображение среза кристалла самородного теллура из возгонов подземного пожара в Кухи-Малик в отраженных электронах (BSE) и характеристическом рентгеновском излучении указанных под рисунками элементов.

Одним из возможных объяснений возникновения зональных по содержанию селена кристаллов теллура является незначительное повышение тем-

пературы во время роста кристаллов, повлекшее отложение во внешних зонах обедненного селеном теллура вплоть до чистого теллура (согласно данным

Дж. Пеллини и Дж. Вио (1906), температура кристаллизации теллура с содержанием Se 10 мас.% составляет 440 °С, а чистого теллура 450 °С). В более холодных участках разгрузки газообразных продуктов горения угля кристаллизуется не содержащий примеси Те самородный селен, описанный нами ранее (Мираков и др., 2017).

Источником селена в возгонах пожара в урочище Кухи-Малик являются угленосные породы месторождения, в которых, по данным В.П. Новикова и В.В. Супрычева (1986), обнаружена примесь селена.

В сублиматах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик кристаллизация самородного теллура происходила из газовой фазы. Вероятно,

это первая находка теллура в возгонах угольных пожаров. Большинство находок самородного теллура связано с продуктами гидротермальных процессов, кристаллизация же теллура из газовой фазы – явление в природе редкое, и кроме настоящей находки известны только единичные такие примеры – находки теллура в отложениях вулканических фумарол (African, Bernard, 2000; Главатских, Трубкин, 2003).

Благодарности

Авторы благодарят за помощь при проведении полевых работ Ш.Ё. Ёрова и Р.У. Сабирову.

Список литературы:

Белаковский Д.И., Москалев И.В. Аммониевая селитра из продуктов угольного пожара в урочище Кухи-Малик (Центральный Таджикистан) // Новые данные о минералах. 1988. Вып. 35. С. 191–94.

Белаковский Д.И., Новиков В.П., Паутов Л.А., Супрычев В.В. Первая находка летовицита на территории СССР (Центральный Таджикистан) // Доклады Академии наук Таджикской ССР. 1988. Т. 31. № 9. С. 603–606.

Викентьев И.В., Шишакова Л.Н., Степанова Е.А., Трубкин Н.В., Дубинчук В.Т., Орлов М.П., Еремич Н.И. Особенности минерального состава руд Учалинского месторождения (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов. 2008. Т. 14. С. 156–162.

Главатских С.Ф., Трубкин Н.В. Самородный теллур и никель из высокотемпературных газовых возгонов Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Доклады Академии наук. 2003. Т. 389. № 2. С. 231–234.

Ермаков Н.П. Пасруд-Ягнобское месторождение углей и горящие копи г. Кан-Тар / К геологии каменноугольных месторождений Таджикистана / Под ред. А.Р. Бурачека и П.П. Чуенко. Материалы Таджикско-Памирской экспедиции 1933 г. 1935. Вып. XIII. Л.: Химтеорет. С. 47–66.

Кудрявцев А.А. Химия и технология селена и теллура // М.: Высшая школа, 1961. 285 с.

Масленников В.В., Херрингтон Р.Е., Буслаев Ф.П., Стенли К. Самородный теллур, теллуриды и сульфотеллуриды в сульфидных трубах черного курильщика Яман-Касинского медно-цинково-колчеданного месторождения // Уральский минералогический сборник. 1997. № 7. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 53–67.

Мираков М.А., Файзиев А.Р., Паутов Л.А. Самородный селен в продуктах подземного пожара Фан-Ягнобского угольного месторождения (Центральный Таджикистан) // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2017. Т. 60. № 9. С. 456–460.

Новиков В.П., Супрычев В.В., Бабаев М.А. Нашатырь из возгонов подземного пожара на Раватском угольном месторождении (Центральный Таджикистан) // Доклады АН Таджикской ССР. 1979. Т. 22. № 11. С. 687–690.

Новиков В.П., Супрычев В.В. Условия современного минералообразования в процессе подземного горения углей на Фан-Ягнобском месторождении // Минералогия Таджикистана. 1986. № 7. С. 91–104.

Новиков В.П., Супрычев В.В., Салихов Ф.С. Некоторые геохимические особенности гипергенного минералообразования в условиях современного угольного пожара на примере Фан-Ягнобского месторождения // Минералогия Таджикистана. 1989. № 8. С. 107–118.

Охунов Р.В., Ёров З.Ё., Негматов И.И. Атлас-справочник угольного месторождения Фон-Ягноб. Душанбе. 2017. 170 с.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. 1132 с.

Сахарова М.С., Лебедева Н.В., Чубаров В.М. Первая находка на Камчатке редких минералов теллура – голдфилдита, раклиджита, самородного теллура // Доклады АН СССР. 1984. Т. 278. № 5. С. 1217–1220.

Сидоров А.А., Волков А.В., Савва Н.Е. Вулканизм и эпитеpmальные месторождения // Вулканология и сейсмология. 2015. № 6. С. 3–12.

Сокол Э.В., Максимова Н.В., Нигматулина Е.Н., Шарыгин В.В., Калужин В.М. Пирогенный метаморфизм. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 307 с.

Спиридонов Э.М. Вулканогенные эпитеpmальные, мезотермальные, гипотермальные (ксенотермальные) месторождения золота и их минерально-геохимические особенности // Мат. IV Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. 22–27 сентября 2009 года. Петропавловск-Камчатский. 2009. Т. 2. С. 814–817.

Шарыгин В.В., Сокол Э.В., Белаковский Д.И. Фа-

ялит-секанинаитовые паралавы Раватского угольного пожара (Центральный Таджикистан) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. №. 8. С. 910–932.

Чвилёва Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.

Africano F., Bernard A. Acid alteration in the fumarolic environment of Usu volcano, Hokkaido, Japan // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2000. Vol. 97 (1/4). P. 475–495.

Belakovski D.I. Die Mineralien der brennenden Kohleflöze von Ravat in Tadshikistan // Lapis. 1990. B. 15 (12). S. 21–26 (на нем. яз.).

Dana E.S., Wells H.L. On some selenium and tellurium minerals from Honduras // Amer. Journ. Sci. Ser. 3. 1890. Vol. 40. № 235. P. 78–81.

Foulon H. Über gediegen Tellur von Fačzebaja // Neues Jahr. Miner. Geol. Palaeont. 1885. B. I. S. 371–372 (на нем. яз.)

Fulginiti P., Sbrana A. Presence of native gold and tellurium in the active high-sulfidation hydrothermal system of the La Fossa volcano (Vulcano, Italy) // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1998. 86 (1/4). P. 187–198.

Kotkata M.F., Mahmoud E.A., El-Mously M.K. Equilibrium diagram of selenium – tellurium system // Acta Physica Hungar. 1981. Vol. 50. P. 61.

Nakata M., Komuro K. Chemistry and occurrences of native tellurium from epithermal gold deposits in Japan // Resource geology. 2011. Vol. 61 (3). P. 211–223.

Nasdala L., Pekov I.V. Ravatite, C₁₄H₁₀, a new organic mineral species from Ravat, Tadzhikistan // Europ. Journ. Mineral. 1993. Vol. 5. P. 699–705.

Pautov L.A., Mirakov M.A., Siidra O.I., Nazarchuk E.V., Faiziev A.R., Karpenko V.Y. Falgarite, IMA 2018-069. CNMNC Newsletter No. 45, October 2018, page 1042 // European Journal of Mineralogy. 2018. Vol. 30. P. 1037–1043.

Pellini G., Vio G. Contributo allo studio dell'isomorfismo fra selenio e tellurio Atti della Reale Accademia dei Lincei. Anno 303. Ser. 5. Rendiconti. // Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali. 1906. Vol. 15. 2-semester. P. 46–53 (на итал. яз.).

Plotinskaya O.Y., Kovalenker V.A., Seltmann R., Stanley C.J. Te and Se mineralogy of the high-sulfidation Kochbulak and Kairagach epithermal gold telluride deposits (Kurama Ridge, Middle Tien Shan, Uzbekistan) // Mineralogy and Petrology. 2006. 87 (3/4). P. 187–207.