



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 54, вып. 4 (2020), 96–106

Первая находка ртутных минералов – тиманнита и киновари в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан)

Мираков М.А.¹, Паутов Л.А.², Махмадшариф С.¹,
 Карпенко В.Ю.², Шодибеков М.А.¹

¹Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН РТ, Душанбе

²Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pla58@mail.ru

В возгонах природного подземного угольного пожара в урочище Кухи-Малик вблизи кишлака Рават на Фан-Ягнобском месторождении коксующихся каменных углей (Айнинский район Согдийской обл., Таджикистан) обнаружены тиманнит HgSe и киноварь HgS . Образцы обожженных пород с тонкими налетами Al- , Al-Fe- сульфатов и ртутной минерализацией извлечены из зоны трещиноватости в области разгрузки горячих газов от подземного угольного пожара. Температура образцов при сборе была не ниже 150°C . Кристаллы и их сростки (20–30 мкм в поперечнике, редко столбчатые кристаллы до 0.25 мм по удлинению), совместно сложенные тиманнитом и киноварью, образуют редкую присыпку на поверхности темно-серых обожженных аргиллитов. Тиманнит слагает внешние зоны кристаллов, киноварь – центральные. Кристаллы изометричного, редко столбчатого облика. Образованы гранями $a\{100\}$, $o\{111\}$ и $o\{1\bar{1}1\}$, иногда наблюдаются двойники с плоскостью срастания (111). Цвет кристаллов темно-серый до черного, блеск сильный полуметаллический. В отраженном свете тиманнит светло-серый с голубоватым оттенком, R около 30%, изотропен; киноварь светло-серая с голубоватым оттенком, ясной анизотропией и заметным двуотражением, сильными внутренними красными рефлексами. Состав (м.з., вес.%): киноварь: $\text{Hg } 83.32\text{--}83.99$, $\text{S } 12.90\text{--}14.38$, $\text{Se } 1.44\text{--}4.07$, сумма $99.43\text{--}100.29$; тиманнит: $\text{Hg } 72.94\text{--}75.28$, $\text{S } 1.29\text{--}3.39$, $\text{Se } 21.36\text{--}24.87$, сумма $99.30\text{--}101.26$. Приведена рентгеновская порошкограмма, на которой присутствуют отражения как тиманнита, так и киновари. Это первая находка собственных минералов ртути в сублиматах природного подземного угольного пожара на Фан-Ягнобском месторождении. Кристаллизация этих минералов на пожаре в урочище Кухи-Малик происходила из газовой фазы, что довольно редко реализуется в природе. Обсуждаются возможные механизмы кристаллизации этих минералов в возгонах.

Ключевые слова: тиманнит, киноварь, псевдофумаролы, сублиматы, минералы возгонов, угольные пожары, Кухи-Малик, Рават, Фан-Ягнобское месторождение, Таджикистан.

В возгонах природного подземного угольного пожара в урочище Кухи-Малик вблизи кишлака Рават на Фан-Ягнобском месторождении коксующихся каменных углей (Айнинский район Согдийской обл., Таджикистан), рис. 1а, б, обнаружены тиман-

нит HgSe (куб. с.) и киноварь HgS (триг. с.) Это первые минералы ртути, диагностированные в сублиматах пожара на этом месторождении. В минералах возгонов этого природного пожара ранее отмечалась примесь ртути (до 0.п мас.%); также выска-

зывалось предположение о возможном обнаружении в будущем на нем собственно ртутных фаз (Новиков и др., 1989). Это предположение подтвердилось настоящей находкой тиманнита и киновари. Кристаллизация этих минералов на Кухи-Малик происходила из газовой фазы, что довольно редко реализуется в природе.

Подземные угольные пожары в долине р. Ягноб, известные под названием «горящих копей», в течение продолжительного времени были источником квасцов, нашатыря, купоросов для медицинских и хозяйственных целей (Ермаков, 1935; Вадило, 1958; Новиков, Супрыгчев, 1986; Смирнов, 2011). С геологическим строением, историей изучения и освоения Фан-Ягнобского угольного месторождения и особенностями подземных пожаров на нем можно познакомиться по работам (Ермаков, 1935; Вадило, 1958; Новиков, 1989; Новиков и др., 1989; Охунов и др. 2017 и др.). Минералогия возгонов псевдофумарол

и пирометаморфических пород этого объекта рассматривается в целом ряде публикаций (Новиков и др., 1979; Белаковский, Москалев, 1988; Белаковский и др., 1988; Новиков 1993; Сокол, 2003; Сокол и др., 2005; Шарьгин и др., 2009; Мираков и др., 2017; Мираков и др., 2019; Паутов и др., 2019; Belakovski, 1990; Nasdala, Pekov, 1993; Mirakov et al., 2020; Pautov et al., 2020 и др.). Геохимические особенности минералообразования в условиях современного угольного пожара обсуждаются в работах (Новиков, Супрыгчев, 1986; Новиков и др., 1989; Новиков, 1993; Шарьгин и др., 2009; Охунов и др., 2017). По данным спектрального анализа повышенные содержания ртути зафиксированы в эксгалационной самородной сере (до десятых долей мас.%), а меньшие концентрации ($30\text{--}33 \cdot 10^{-3}$ мас.%) – в нашатыре, масканьите и нитраммите (Новиков и др., 1989). Надо отметить, что сера – один из самых распространенных минералов среди возгонов описываемого пожара (рис. 1в).

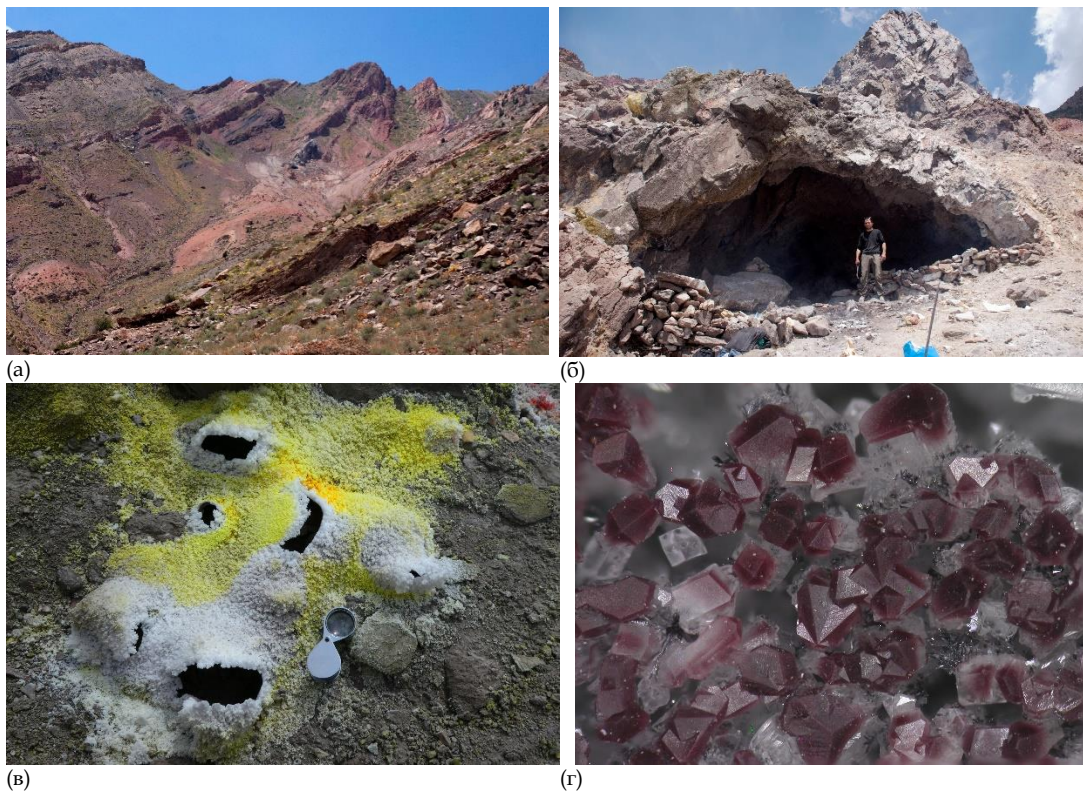


Рис. 1. Область разгрузки горячих газов подземного пожара на Фан-Ягнобском месторождении и некоторые минералы возгонов: а – верховья сая Кухи-Малик, б – полость, «грот», в скальном выходе обожженных пород в верховьях сая Кухи-Малик, в которой обнаружены киноварь и тиманнит; в – эксгалационные нашатырь и сера на некотором удалении от «грота»; г – щетка кристаллов, в т.ч. двойникованных, нашатыря с многочисленными включениями самородного селена, из-за которых нашатырь частично окрашен в красно-коричневый цвет. Черные кристаллы с сильным блеском – селен. Из небольших полостей возле устья «грота». Ширина поля зрения 8 мм.

Селен в возгонах пожара представлен самородным селеном, образующим щетки хорошо оформ-

ленных кристаллов (Мираков и др., 2017), и мелкими включениями в нашатыре, придающими последнему красновато-коричневую окраску (рис. 1г).

Несмотря на различную природу горячих газов и источника тепла, минерализация возгонов подземных угольных пожаров имеет много общего с сублиматами вулканического фумарола (Новиков и др., 1989).

Наиболее известны подземные угольные пожары на Кухи-Маликском участке центральной площади Фан-Ягнобского месторождения. В верховьях урочища (сая) Кухи-Малик подземным горением затронуты угленосные отложения габерудской и джижикрутской свит среднеюрского возраста (Новиков и др., 1989). По данным этих же авторов, очаг пожара расположен на глубине в несколько сотен метров, а выходы горячих газов с температурой от 40 до 590 °С наблюдаются на площади около 4 га. Именно на этом участке, в верховьях сая в скальном выходе в полости обрушения (рис. 1), упоминаемой в литературе как «пещера», «грот» (Охунов и др. 2017), и были обнаружены нами ртутные минералы. «Грот» вскрывает крутопадающие пласты обожженных аргиллитов, алевролитов и гравелитов, в которых имеются зоны трещиноватости и брекчирования, где разгружаются горячие газы от подземного пожара. В глубине некоторых трещиноватых зон видно красное свечение пород, что говорит о температуре не ниже 450–500 °С. На удалении от зон разгрузки газов температура пород значительно снижается. По замерам хромель-алюмелевой термопарой в апреле 2020 г. температура газов, выходящих из зон трещиноватости пород в этой полости, достигала 320–400 °С. Выделяющиеся из трещин газы имеют сильный удушливый запах и являются довольно «сухими» – на вносимых в газовый поток холодных предметах не образуется жидких конденсатов. В более холодных участках разгрузки газов возрастает роль сернокислотных конденсатов и наблюдаются продукты сернокислотного метасоматоза пород. Для сбора образцов из горячей зоны куски породы расшатывались ломом и извлекались с помощью щипцов с длинными ручками. Температуру обломков пород с ртутной минерализацией измерить не удалось, но она по косвенным признакам была не ниже 150 °С. По мере остывания до приемлемой для упаковки температуры образцы помещались в герметичные контейнеры. К сожалению, выделения ртутных минералов в этих возгонах имеют весьма малые размеры и потому они не были замечены при сборе образцов на месторождении, а обнаружались только при камеральной обработке собранного материала. Это обстоятельство привело к некоторому дефициту ртутных минералов для более детальных исследований.

Кристаллы, совместно сложенные тиманнитом и киноварью, образуют редкую присыпку на поверхности темно-серых обожженных аргиллитов (рис. 2а, б) часто вместе с тонкими налетами недиагностированных сульфатов алюминия и сульфатов алюминия и железа.

Кристаллы описываемых ртутных минералов чаще всего имеют изометричный, очень редко –

столбчатый облик. Обычно одиночные, реже наблюдаются сростки из двух-трех кристаллов (рис. 3). Наиболее часто размер кристаллов составляет около 20–30 мкм в поперечнике, изредка столбчатые кристаллы достигают 0.25 мм по удлинению. Кристаллы образованы гранями куба $a\{100\}$ и тетраэдров $o\{111\}$ и $o\{1\bar{1}1\}$, для граней o' характерна штриховка (рис. 3, 4). Встречаются двойники, вероятнее всего, с плоскостью срастания (111) (рис. 3е). Идентификация простых форм выполнена путем сопоставления изображений кристаллов под сканирующим электронным микроскопом в режиме BSE (рис. 3) с чертежами идеализированных кристаллов, которые строились путем подбора комбинаций форм, присущих точечной группе $\bar{4}3m$, в которой кристаллизуется тиманнит. Чертежи кристаллов выполнены с помощью программных пакетов *KrystalShaper* и *WinXmorph* (Kaminsky, 2005).

Цвет кристаллов темно-серый, блеск сильный полуметаллический. Тиманнит слагает внешние зоны кристаллов, центральная часть которых представлена киноварью, что видно на сечениях кристаллов в отраженном свете, а еще лучше – на рентгеновских картах распределения элементов (рис. 5). Является киноварь первичным минералом или же параморфозой по метациннабариту, выяснить не удалось. Метациннабарит – высокотемпературная модификация HgS (куб. с.) устойчивая, по данным разных исследователей, при температуре выше 315–386 °С (Dickson, Tunell, 1959; Potter, Barnes, 1978; Баляцкий и др., 1983), при охлаждении может переходить в киноварь. Примесь селена повышает устойчивость метациннабарита. Довольно часто срастание тиманнита с киноварью происходит по волнистой с заливами границе (рис. 5). Для объяснения такого характера срастания можно предложить несколько вариантов: 1) тиманнит нарастал на киноварь (метациннабарит?), частично замещая ее; 2) внешние зоны кристаллов являются псевдоморфозами тиманнита по метациннабариту (форма кристаллов не соответствует киновари), возникшими в результате газового метасоматоза, впоследствии при охлаждении метациннабарит перешел в киноварь; 3) тиманнит нарастал на кристаллы киновари, грани которых не были зеркальными, а были осложнены ростовым рельефом (вициналями, элементами скелетного роста, блоками и т.д.) или к моменту начала кристаллизации тиманнита были корродированы. К сожалению, малые размеры сростков и дефицит материала для исследования анатомии кристаллов не позволил найти убедительные доводы для подтверждения того или иного предположения.

В аншлифе в отраженном свете тиманнит, слагающий внешнюю кайму кристаллов, имеет светло-серый цвет с голубоватым оттенком и умеренную отражательную способность (по глазомерной оценке, R около 30%), изотропен. Центральная часть кристаллов, представленная киноварью, имеет

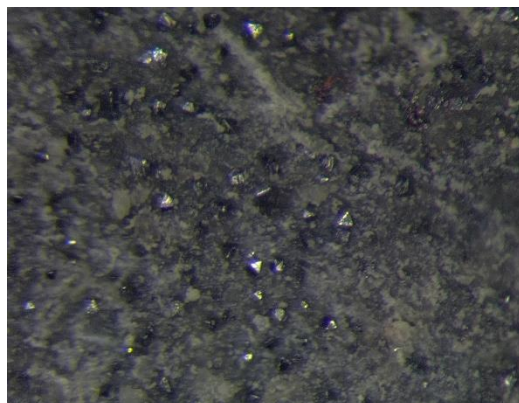
светло-серый цвет с голубоватым оттенком, обладает яркой анизотропией и заметным двуотражением, наблюдению довольно сильно мешают очень яркие красные рефлексы. Отражательная способность киновари в одном положении R_0 практически совпадает с отражательной способностью тиманнита, в другом положении погасания, R_e , – заметно ниже. К сожалению, незначительные размеры кристалла и сильные внутренние рефраксы (рис. 2г) не позволили инструментально измерить спектры отражения минералов.

Химический состав минералов определен электронно-зондовым методом и приведен в табл. 1, а карты распределения элементов – на рис. 5. Киноварь характеризуется отклонением от идеальной стехиометрии: $Hg_{0.94-0.96}(S_{0.92-1.01}Se_{0.04-0.12})$. Причины и механизмы возникновения дефицита ртути в киновари рассмотрены R.W. Potter и H.L. Varnes (1978). Тиманнит содержит примесь серы до 3.4 мас.%, а киноварь – примесь селена до 4.1 мас.%. Если примесь серы в тиманните отмечается часто: существует непрерывный изоморфный ряд

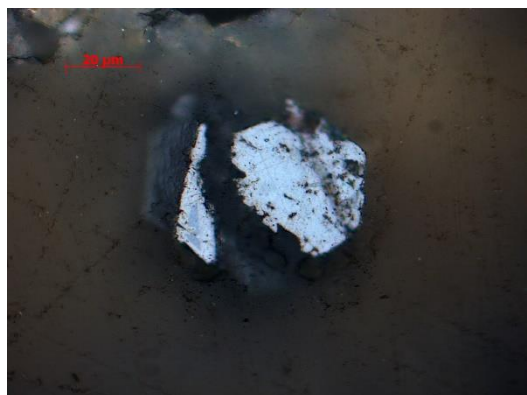
между тиманнитом $HgSe$ и метациннабаритом HgS (Naumann, 1855; Earley, 1950; Чвилёва и др., 1988; Васильев, 2004, и др.), то примесь селена в киновари относительно редко превышает 1 мас.%. Отмечается закономерность в содержании селена в киновари в зависимости от типа месторождений (содержание в г/т, (n) – количество анализов): в кварц-флюорит-антимонит-киноварном типе – 1312 (104), в карбонат-киноварном – 478.5 (22), в кварц-карбонат-киноварном и кварц-дикит-(антимонит)-киноварном – 57.5 (30) (Средние... 1973). Повышенное содержание селена (до 0.48 мас.%) в киновари описано в месторождениях Южной Ферганы, причем указано, что на участках, где отмечается более высокотемпературный комплекс минералов, устанавливается повышенная концентрация селена в сульфидах, а на участках с более низкотемпературной ассоциацией минералов, концентрация его соответственно понижается (Богдасаров, 1972). Содержание Se в киновари из месторождения Кара-Су достигает 1.3 мас.% (Вершковская и др., 1972). Еще более высокие концентрации селена по



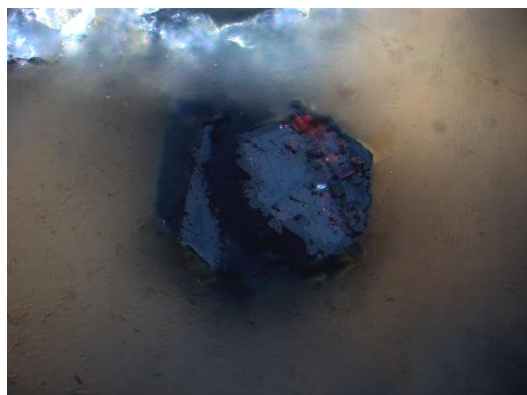
(а)



(б)



(в)



(г)

Рис. 2. Тиманнит и киноварь из возгонов подземного угольного пожара на Кухи-Маликском участке Фан-Ягнобского месторождения: а – общий вид образца обожженного алевролита, на поверхности которого обнаружены кристаллы, сложенные тиманнитом и киноварью, ширина поля зрения 13 см; б – кристаллы тиманнит-киновари на поверхности образца, показанного на предыдущем рисунке, косое освещение, ширина поля зрения 2.8 мм; в, г – сечения кристаллов тиманнит-киновари в полированном препарате в отраженном свете – при одном николе (в), в скрещенных николях (г), видны красные рефлексy у киновари.

результатам электронно-зондового анализа зафиксированы в киновари с вулкана Менделеева на о. Кунашир (Курильские о-ва) (2 мас.%), из месторождений Карасу в Малыгузарских горах (2.65 мас.%) и Кульджук в Центральных Кызылкумах (5.5 мас.%, и один анализ показал 9.4 мас.%)

(Балицкий и др., 1983). Отметим, что именно на месторождении Кульджук впервые на территории Советского Союза был найден и описан тиманнит (Финкельштейн, 1971; Минералы Узбекистана, 1975).

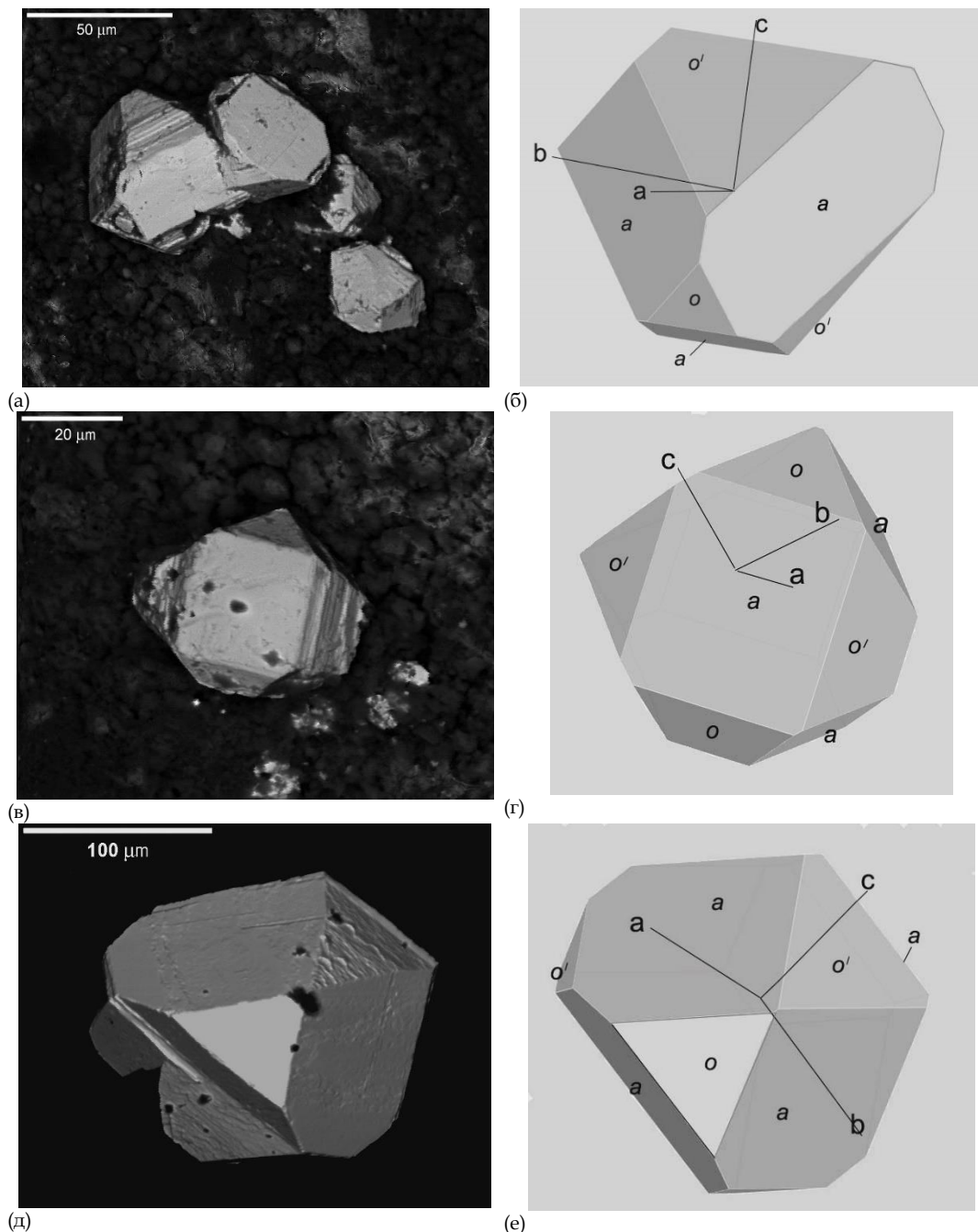


Рис. 3. Кристаллы и сростки кристаллов, сложенные тиманнитом и киноварью. Морфология кристаллов отвечает формам тиманнита, образующим внешнюю зону кристаллов. Слева (а, в, д) – изображения в режиме BSE реальных кристаллов из возгонов природного угольного пожара на Кули-Малик; справа (б, г, е) – их чертежи с указанием ориентировки осей; а – (100), о – (111), о' – (111).

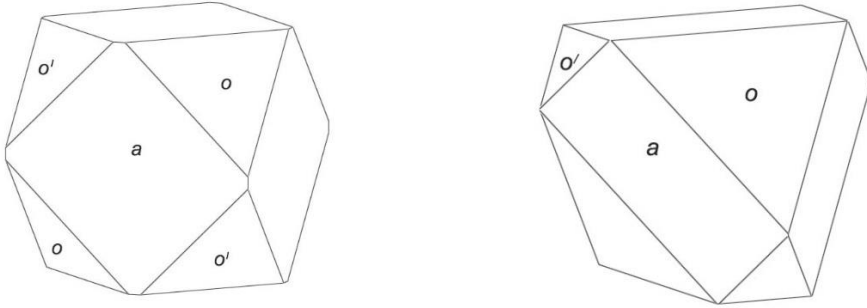
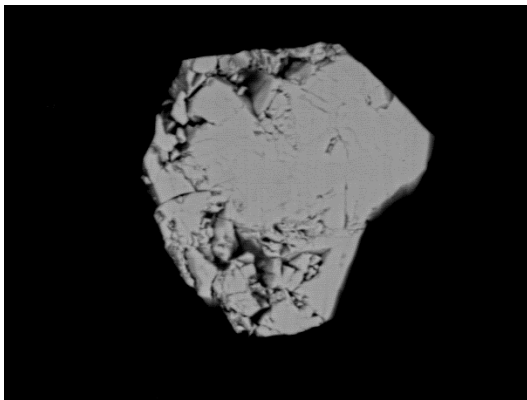
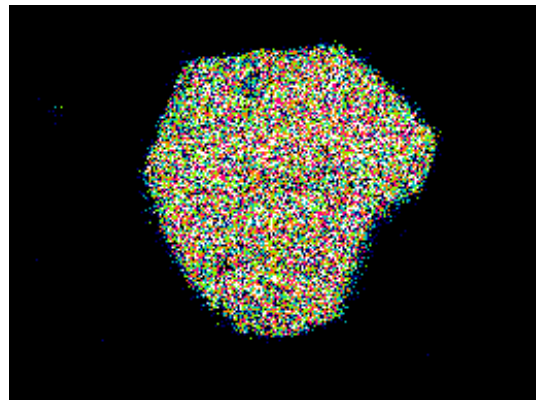


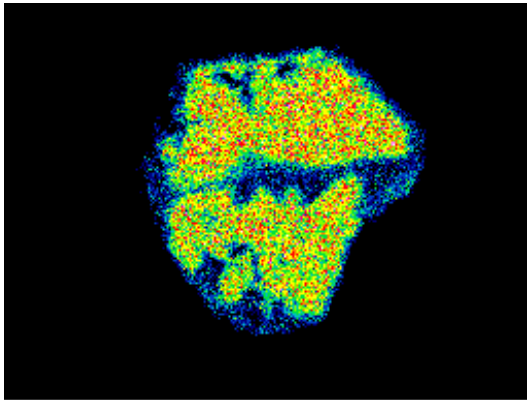
Рис. 4. Чертежи идеализированных кристаллов тиманнита в ортогональной проекции. a - (100), o - (111), o' - ($\bar{1}\bar{1}1$).



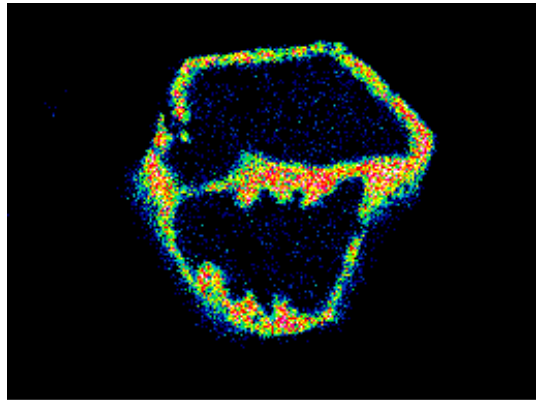
30μm



Hg La1



S Ka1



Se La1_2

Рис. 5. Сечение срезка зональных кyanит-тиманнитовых кристаллов. Внешняя зона сложена тиманнитом, внутренняя – кyanитом. Изображения в режиме BSE и рентгеновские карты распределения элементов, указанных под изображениями.

Для подтверждения диагностики минералов из двух порций растертых кристаллов (отделить тиманнит от кyanита не представлялось возможным) были получены две рентгеновские порошковые диаграммы методом Дебая-Шеррера в камере РКД-

57.3 на Сг-излучении. Расчет обеих дебаеграмм подтвердил, что кристаллы сложены тиманнитом и кyanитом (табл. 2). Параметры элементарных ячеек минералов не рассчитывали, так как по результатам микронзондового изучения выявлены вариации

составов минералов в пределах кристалла. Отметим только, что межплоскостные расстояния тиманнита с пожара несколько меньше таковых для чистого HgSe, что не противоречит экспериментальным данным о зависимости параметров элементарной ячейки от состава в системе HgSe – HgS (Earley, 1950; Васильев, 2004).

Таблица 1. Химический состав (мас.%) киновари и тиманнита из возгонов природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик

Компонент	Киноварь			Тиманнит				
	1	2	3	4	5	6	7	8
Hg	83.32	83.42	83.99	73.53	75.28	72.94	75.01	74.43
S	12.9	14.38	14.33	1.65	3.39	1.29	2.46	1.97
Se	4.07	1.63	1.44	24.12	21.36	24.23	22.68	24.87
total	100.29	99.43	99.76	99.30	100.03	98.46	100.15	101.26
Коэффициенты в формуле при расчете на сумму ф.к. равны 2								
#Hg	0.96	0.94	0.95	1.01	1.00	1.02	1.01	0.99
#S	0.92	1.01	1.01	0.14	0.28	0.11	0.21	0.16
#Se	0.12	0.05	0.04	0.85	0.72	0.87	0.78	0.84

Примечание. 1-7 – анализы выполнены с помощью Si(Li)-детектора и системы анализа INCA Energy 350 при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА; 8 – анализ выполнен с помощью волнодисперсионных спектрометров на JXA-733 JEOL при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 10 нА при диаметре зонда 3–5 мкм. Элементы, аналитические линии, стандарты: S K α – PbS, Se L α – Bi $_2$ Se $_3$; Hg M α – HgTe. Расчет концентраций – PAP.

Таблица 2. Рентгеновские порошковые данные тиманнита и киновари

Тиманнит с киноварью, Таджикистан*		Киноварь PDF # 6-256			Тиманнит PDF # 75-1554		
d/n, Å	I	d/n, Å	I	hkl	d/n, Å	I	hkl
		3.59	6	100			
3.48	8				3.4872	999	111
3.36	8	3.359	100	101			
3.15	2	3.165	30	003			
2.99	10				3.0200	149	200
2.87	9	2.863	95	102			
2.36	< 1	2.375	10	103			
2.14	2				2.1354	557	220
2.08	5	2.074	25	110			
		2.026	12				
1.984	1 ш.	1.980	35	104			
		1.900	4				
1.820	2 о.ш.				1.8211	369	311
1.750	1				1.7436	34	222
1.732	1	1.735	25	113			
1.674	1 ш.	1.679	25	105			
		1.583	6	006			
		1.562	6	114			
1.490	2 о.ш.				1.5100	73	400
1.439	3	1.433	8	204			

Примечание. * Фотометод, камера РКД-57.3, Cr-анод.
Ш. – широкая линия, о.ш. – очень широкая линия.

Основные результаты и обсуждение

В возгонах природного угольного подземного пожара на территории Фан-Ягнобского угольного месторождения впервые обнаружены и описаны ми-

нералы ртути – тиманнит HgSe и киноварь HgS. Источником ртути, селена и серы являются угленосные породы и каменный уголь, а главными факторами, определяющими возможность образования в

сублиматах фаз ртути, являются не столько абсолютные содержания этих элементов в породах, сколько эффективность извлечения их в газовую фазу, перенос и наличие благоприятных условий для кристаллизации при разгрузке горячих газовых струй.

Нахождение тиманнита и киновари в возгонах угольного пожара, учитывая высокую температуру в зоне отбора образцов, свидетельствует о кристаллизации этих минералов из газа, а не из водного раствора. Для тиманнита, возможно, это первое сообщение о природной конденсации его из газовой фазы. По экспериментальным данным разных авторов, $HgSe$ возгоняется без разложения при температурах выше $300\text{ }^{\circ}C$ (Чижилов, Счастливый, 1964), по другим данным, в диапазоне температур $450\text{--}600\text{ }^{\circ}C$ (Vrebrick, 1965). Тиманнит, недавно обнаруженный П.М. Карташовым в образце марказита, собранного Л.М. Лебедевым на вулкане Менделеева (www.mindat.org), имеет гидротермальное происхождение (персональное сообщение П.М. Карташова). Других указаний на нахождение тиманнита в сублиматах вулканических фумарол и в продуктах пожаров на отвалах угольных месторождений в доступной литературе обнаружить не удалось. Отсутствуют образцы тиманнита из возгонов вулканов и с горящих угольных терриконов в фондах Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН.

Синтетический аналог киновари в лабораторных условиях может быть получен из газовой фазы путем прямой реакции между парами ртути и серы и очищен возгонкой в токе азота. Температура сублимации HgS $580\text{--}584\text{ }^{\circ}C$ (Krauskopf, 1951), но и ниже этой температуры до $242\text{--}251\text{ }^{\circ}C$ летучесть киновари весьма высока (Wu et al., 2011). Искусственную киноварь для различных целей, прежде всего как насыщенный красного пигмента, с древних времен получали сублимацией из смеси ртути и серы в керамической или стеклянной таре (так называемый сухой способ), и только позднее были разработаны «мокрые» способы синтеза киновари (Церр, Рюбенкамп, 1932; Беленький, Рискин, 1949; Garcia-Moreno, Thomas, 2008). Учитывая относительную легкость кристаллизации искусственного аналога киновари из газовой фазы, можно было бы ожидать более широкого распространения киновари в возгонах на горящих угольных отвалах и как эксталяционного минерала в вулканических фумаролах, но это оказывается не так. Мы не обнаружили в доступной литературе указаний на образование киновари на горящих угольных отвалах (Чесноков, Щербакова, 1991; Потапов и др., 2007; Щербакова, 2018; Masalehdani et al., 2009; Ciesielczuk et al., 2015; Křibek et al., 2017, и др.). Что касается данных о находках киновари в вулканических возгонах, то, собирая информацию об этом, мы столкнулись с рядом трудностей, так как часто приводимые в литературе данные не позволяют уверенно судить о том, кристаллизовалась киноварь из газовой фазы

или из раствора. В учебной и справочной литературе встречаются указания о нахождении киновари в возгонах вулканов (Курс минералогии, 1936; Годовиков, 1983; Чвилёва и др., 1988; Бетехтин, 2008, и др.), но либо не приводятся места находок, либо указываются ртутные гидротермальные месторождения, такие как Монте-Амиата (Monte Amiata), Тоскана, Италия (Годовиков, 1983), Сульфур Бенк (Sulphur-Bank), Калифорния, США (Балицкий и др., 1983; Озерова, 2008; Озерова, Озеров, 2009). Заметим, что реконструкция условий минералообразования на участках месторождений, которые обработаны много лет назад, может быть весьма сложна. Так, представления об образовании киновари из пара на верхних горизонтах месторождения Сульфур Бенк базируются на описанных в 1890 г. находках идиоморфных кристаллов серы, содержащих включения киновари (White, Roberson, 1962). Возможность кристаллизации киновари из парогазовой фазы была продемонстрирована экспериментально при температуре $200\text{ }^{\circ}C$ с использованием автоклавной техники (Балицкий и др., 1983), однако неясно, насколько результаты этого опыта при повышенном давлении могут быть сопоставлены с природным минералообразованием в вулканических фумаролах. Многочисленные проявления гидротермальной киновари связаны с сольфатарами. Так, на Мутновском вулкане (Камчатка) описано образование киновари в грязевом котле с естественными конденсатами высокотемпературных фумарольных струй (pH 0.15, температура $100\text{ }^{\circ}C$), на выходах фумарол на вулкане Менделеева отлагается сера с мелкими включениями HgS и подчиненным количеством сульфидов железа, реже кристаллизуется собственно HgS (Озерова и др., 1969; Озерова, 1986, 2008; Озерова, Озеров, 2009). Киноварь найдена в продуктах кислотного выщелачивания на вулкане Эбеко (остров Парамушир Большой Курильской гряды) (Shevko et al., 2018). Частицы размерами около 40 мкм киновари или метатиннабарита обнаружены в образцах, богатых серой, из «желтой» зоны низкотемпературной ($< 120\text{ }^{\circ}C$) фумаролы вулкана Гуальятири (Guallatiri) на севере Чили (Inostroza et al., 2020). Киноварь упоминается без каких-либо дополнительных сведений в продуктах извержения вулкана Алаид (на острове Атласова Большой Курильской гряды) (Аникин и др., 2018), в сводном кадастре минералов и неназванных фаз в продуктах извержений камчатских и курильских вулканов (Силаев и др., 2019). Наши поиски в литературе описаний киновари, которая кристаллизовалась бы из относительно «сухой» газовой фазы в современных вулканических высокотемпературных фумаролах (Stoiber, Rose, 1974; Се-рафимова, 1979; Верагова, Филатов, 1993; Зеленский, 2003; Zelenski, Bortnikova, 2005; Garcia-Moreno, Thomas, 2008; Чаплыгин, 2009; Округтин и др., 2015; Balić-Zunić et al., 2016; Pekov et al., 2018; Пеков и др., 2020, и др.) не увенчались успехом.

Отметим, что недавно одна из модификаций сульфида ртути (неясно, кубический метарциннабарит, гексагональный гиперциннабарит или тригональная киноварь) обнаружена на Луне. По мнению исследователей минералогии лунного реголита, HgS, предположительно, образовался из газовой фазы путем конденсации паров Hg и S (Рыбчук и др., 2020).

Подводя итог этому обзору, можно сказать, что находки тиманнита и киновари в возгонах подземного пожара в урочище Кухи-Малик являются ред-

ким примером природной кристаллизации этих минералов из газовой фазы.

Благодарности

Авторы благодарят за помощь в организации полевых работ А.Р. Файзиева и Ш. Ёрова, за обсуждения, помощь в подборе литературы и советы А.О. Карпова, И.В. Пекова, Д.И. Белаковского, И.В. Чапальгина, П.М. Карташова и П.Ю. Плечова.

Список литературы:

Аникин Л.П., Делемень И.Ф., Рашидов В.А., Чубаров В.М. Аксессуарные минералы в продуктах извержений вулкана Алаид (Курильская островная дуга) // Вулканизм и связанные с ним процессы. 2018. С. 157–160.

Балицкий В.С., Озерова Н.А., Комова В.В. Гидротермальная кристаллизация и типоморфные особенности киновари и антимонита. М.: Недра, 1983. 119 с.

Белаковский Д.И., Москалев И.В. Аммониевая селитра из продуктов угольного пожара в урочище Кухи-Малик (Центральный Таджикистан) // Новые данные о минералах. 1988. № 35. С. 191–194.

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.

Беленький Е.Ф., Рискин И.В. Химия и технология пигментов. Л.-М., 1949. 624 с.

Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: КДУ. 2008. 736 с.

Богдасаров А.А. Новые данные о селеноносности ртутных месторождений Южной Ферганы // Геохимия. 1972. № 6. С. 743–746.

Вадило П.С. Подземный пожар в Центральном Таджикистане // Природа. 1958. № 8. С. 88–91.

Васильев В.И. Минералогия ртути. Ч. 1. Самородные металлы и их твердые растворы, амальгамиды, арсениды, антимониды, теллуриды, селениды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. 150 с.

Вергасова А.П., Филатов С.К. Минералы вулканических эксгалайтов – особая генетическая группа (по материалам Толбачинского извержения 1975–1976 гг.) // Зап. ВМО. 1993. № 4. С. 68–76.

Вершковская О.В., Назаренко И.И., Курбанова Н.З. Селен в породах и рудах ртутных месторождений Чукотки // Редкометальные месторождения. Их генезис и методы исследования. М.: Недра, 1972. С. 226–234.

Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, 1983. 648 с.

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. Вып. XII. Л.: Химтеорет, 1935. С. 47–66.

Курс минералогии / Колл. авторов: А.Г. Бетехтин, А.К. Болдырев, М.Н. Годлевский и др. М.-Л. 1936. 1052 с.

Зеленский М.Е. Транспорт элементов и условия минералообразования в зонах разгрузки высокотемпературных фумарол на вулкане Мутновский (Камчатка). Автореф. дис. Новосибирск: Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии им. А.А. Трофимука СО РАН, 2003. 20 с.

Минералы Узбекистана. Ред. коллегия: С.Т. Бадалов и др., Т. 1. Ташкент: Фан., 1975. 344 с.

Мираков М.А., Паутов Л.А., Махмадиариф С., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р. Пауфлерит $\beta\text{-VO}(\text{SO}_4)$ в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик (Рават) на Фан-Ягнобском угольном месторождении, Таджикистан // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53. С. 114–121.

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.

Новиков В.П. Пожар, которому тысяча лет // Наука и жизнь. 1989. № 9. С. 30–32.

Новиков В.П. Органические производные угольного пожара на Фан-Ягнобском месторождении // Известия АН Республики Таджикистан, Отделение наук о Земле. 1993. № 4 (7). С. 51–58.

Озерова Н.А., Айдиньян Н.Х., Добровольская М.Г., Шпеталенко М.А., Мартынова А.Ф., Зубов В.И., Лапутина И.П. Современное ртутное рудообразование на вулкане Менделеева (Курильские острова) // Геология рудных месторождений. 1969. № 5. С. 17–33.

Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1986. 232 с.

Озерова Н.А. О современной ртутной дегазации в вулканических областях (на примере Камчатки) // Ферсмановские чтения. Международная научная конференция, посвященная 125-летию со дня рождения академика А.Е. Ферсмана, 10–12 ноября 2008 года. ТЕЗИСЫ. М. 2008. С. 37–40.

Озерова Н.А., Озеров А.Ю. О процессах ртутной дегазации в Камчатском регионе и формировании современной ртутной минерализации из газовой фазы // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии, 22–27 сентября 2009 г., Петропавловск-Камчатский. 2009. С. 786–789

Округин В.М., Малик Н.А., Москалева С.В., Плутахина Е.Ю., Чубаров М.В., Козлов В.В. Новые данные о минералах в продуктах фумарольной деятельности Авачинского вулкана (2013–2014 гг.). // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2015. С. 30–31.

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

Паутов Л.А., Мираков М.А., Махмадишариф С., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р. Находка самородного теллура в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53. С. 95–99.

Пеков И.В., Агаханов А.А., Зубкова Н.В., Кошлякова Н.Н., Щипалкина Н.В., Сандалов Ф.Д., Япаскурт В.О., Турчкова А.Г., Сидоров Е.Г. Фумарольные системы окислительного типа на вулкане Толбачик – минералогический и геохимический уникум. Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 5–6. С. 826–843.

Потапов С.С., Максимович Н.Г., Паршина Н.В. Минералы горелых отвалов Челябинского и Кизеловского угольных бассейнов // Минералогия техногенеза. Миасс. 2007. С. 52–63.

Рыбчук А.П., Мохов А.В., Горностаева Т.А., Карташов П.М., Богатиков О.А. Находка HgS в лунном реголите из проб «Аполлона-17» // Докл. Российской АН. Науки о Земле. 2020. Т. 491. № 1. С. 38–41.

Серафимова Е.К. Минералогия возгонов вулканов Камчатки. М.: Наука, 1979. 168 с.

Силаев В.И., Карпов Г.А., Аникин Л.П., Вергасова

А.П., Филиппов В.Н., Тарасов К.В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 2. Минералы-спутники алмазов толбачинского типа // Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 36–49.

Смирнов Ю.М. Священный огонь Митры и Фан-Ягнобский угольный пожар // Иднакар: методы историко-культурной реконструкции. 2011. № 1 (11). С. 10–44.

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

Сокол Э.В. Минералообразование в процессах пирогенного метаморфизма. Дис. д-ра геол.-минерал. наук: 25.00. 05. Новосибирск. 2003. 461 с.

Средние содержания элементов-примесей в минералах / Авт.: Иванов В.В., Белевитин В.В., Борисенко Л.Ф. и др. М.: Недра, 1973. 208 с.

Финкельштейн Ю.В. О селеноносности западной части Южно-Тянь-Шаньского ртутного пояса и находке тиманнита в Кызылкумах // Записки Всесоюзного Минералогического общества. 1971. Ч. 100. Вып. 5. С. 93–95.

Церр Г., Рубенкамп Р. Руководство по производству минеральных красок. Т. 1. Л.: Госхимтехиздат, 1932. 522 с.

Чаплыгин И.В. Рудная минерализация высокотемпературных фумарол вулкана Кудрявый. Автореф. к. г.-м. н. М.: ИГЕМ РАН, 2009. 24 с.

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

Чесноков Б.В., Щербакова Е.П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. 152 с.

Чижиков Д.М., Счастливый В.П. Селен и селениды. М.: Наука, 320 с.

Шарыгин В.В., Сокол Э.В., Белаковский Д.И. Фаялит-секанинитовые параалы Раватского угольного пожара (Центральный Таджикистан) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 8. С. 910–932.

Щербакова Е.П. Краткий очерк минералогии горелых угольных отвалов // Уральский геологический журнал. 2018. № 4 (124). С. 14–29.

Garavelli A., Jakobsson S.P., Jonasson K., Katerinopoulos A., Kyriakopoulos K., Acquafredda P. Fumarolic minerals: An overview of active European volcanoes // Updates in volcanology - from volcano modelling to volcano geology. InTech open access publishers. 2016. P. 267–322.

Belakovski D. Die Mineralien der brennenden Kohleflöze von Ravat in Tadshikistan // Lapis. 1990. 15 (12). S. 21–26 (in German).

Brebrick R.F. Pressures of Hg and Selenium over HgSe (c) from Optical Density Measurements // The Journal of Chemical Physics. 1965. Vol. 43. № 11. P. 3846–3852.

- Earley J.W. Description and synthesis of the selenide minerals // American Mineralogist. 1950. Vol. 35. № 5–6. P. 337–364.
- Ciesielczuk J., Misz-Kennan M., Hower J.C., Fabińska M.J. Mineralogy and geochemistry of coal wastes from the Starzykowice coal-waste dump (Upper Silesia, Poland) // International Journal of Coal Geology. 2014. Vol. 127. P. 42–55.
- Dickson F.W., Tunell G. The stability relations of cinnabar and metacinnabar // American Mineralogist. 1959. Vol. 44. № 5–6. P. 471–487.
- Inostroza M., Aguilera F., Menzies A., Layana S., González C., Ureta G., Sepúlveda J., Scheller S., Böhm St., Barraza M., Tagle R., Patzschke M. Deposition of metals and metalloids in the fumarolic fields of Guallatiri and Lastarria volcanoes, northern Chile // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2020. 393, 106803. doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106803
- García-Moreno R., Thomas N. Cinnabar or Vermilion? / in Kroustallis S., Townsend J. H., Cenalmor Bruquetas E., Stijnman A., San Andres Moya M., ed., Art Technology: Source and methods / Proceedings of the Second Symposium of the Art Technological Source Research study group. Londres, Archetype publications. 2008. P. 141–143.
- Kaminsky W. WinXmorph: a computer program to draw crystal morphology, grows sectors and cross sections with export files in VRML V2.0 UTF8 – virtual reality format // Journal of Applied Crystallography. 2005. Vol. 40. P. 382–385.
- Krauskopf K.B. Physical chemistry of quicksilver transportation in vein fluids. Economic Geology. 1951. 46 (5), P. 498–523.
- Kříbek B., Sýkorová I., Veselovský F., Laufek F., Malec J., Kněsl I., & Majer V. Trace element geochemistry of self-burning and weathering of a mineralized coal waste dump: the Novátor mine, Czech Republic // International Journal of Coal Geology. 2017. Vol. 173. P. 158–175.
- Masalehdani M.N.N., Mee, F., Dubois M., Coquino, Y., Potdevin J.L., Fialin M., & Blanc-Valleron M.M. Condensate minerals from a burning coal-waste heap in Avion, Northern France // The Canadian Mineralogist. 2009. Vol. 47. P. 573–591.
- Mirakov M.A., Pautov L.A., Südra O.I., Makhmadsharif S., Karpenko V.Y., and Plechov P.Y. Hasanovite, IMA 2020-033. CNMNC Newsletter No. 57 // Europ. Journ. Mineral. 2020. Vol. 32. P. 496.
- Nasdala L., Pekov I.V. Ravatite, C₁₄H₁₀, a new organic mineral species from Ravat, Tadzhikistan // Europ. Journ. Mineral. 1993. Vol. 5. P. 699–706.
- Naumann C.F. XI. Classe. Galenoide oder Glanze. B. Selenische Glanze. 531. Selenmercur oder Tiemannit // Elemente der Mineralogie. Wilhelm Engelmann (Leipzig). 1855. S. 425–425.
- Pautov L.A., Mirakov M.A., Südra O.I., Faiziev A.R., Nazarchuk E.V., Karpenko V.Y., & Makhmadsharif S. Falgarite, K₄(VO)₃(SO₄)₅, a new mineral from sublimates of a natural underground coal fire at the tract of Kukhi-Malik, Fan-Yagnob coal deposit, Tajikistan. Mineralogical Magazine. 2020. 84 (3). P. 455–462.
- Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., Lykova I.S., Britvin S.N., Yapaskurt V.O., Agakhanov A.A., Shchipalkina N.V., Turchkova A.G., Sidorov E.G. Fumarolic arsenates – a special type of arsenic mineralization // Eur. J. Mineral. 2018. V. 30. P. 305–322.
- Potter R.W., Barnes H.L. Phase relations in the binary Hg-S // American Mineralogist. 1978. Vol. 63. № 11–12. P. 1143–1152.
- Shevko E.P., Bortnikova S.B., Abrosimova N. A., Kamenetsky V.S., Bortnikova S.P., Panin G.L., & Zelenski M. Trace elements and minerals in fumarolic sulfur: the case of Ebeko Volcano, Kuriles // Geofluids. 2018. Vol. 2018. Article ID 4586363. 16 p. https://doi.org/10.1155/2018/4586363
- Stoiber R.E., Rose Jr. W.I. Fumarole incrustations at active Central American volcanoes // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1974. 38 (4). P. 495–516.
- White D.E., Roberson C.E. Sulfur Bank, California a Mayor Hot-Spring Quicksilver Deposit // Geol. Soc. Amer. Petrologic Studies: A volume in Honor of A.F. Buddington. 1962. P. 397–428.
- Wu S., Uddin M.A., Nagano S., Ozaki M., Sasaoka E. Fundamental study on decomposition characteristics of mercury compounds over solid powder by temperature-programmed decomposition desorption mass spectrometry // Energy & fuels. 2011. Vol. 25. № 1. P. 144–153.
- Zelenski M., Bortnikova S. Sublimate speciation at Mutnovsky volcano, Kamchatka // European Journal of Mineralogy. 2005. Vol. 17. № 1. P. 107–118.