

## ТЕРРИУОЛЛАСЕИТ ИЗ КОЧКАРСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЮЖНЫЙ УРАЛ: ПЕРВАЯ НАХОДКА В РОССИИ

А.В. Касаткин<sup>1</sup>, Р. Шкода<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр. 18/2, г. Москва, 119071 Россия; [anatoly.kasatkin@gmail.com](mailto:anatoly.kasatkin@gmail.com)

<sup>2</sup>Масариков университет, ул. Котлариска 2, г. Брно, 61137 Чехия

## TERRYWALLACEITE FROM THE KOCHKAR AU DEPOSIT, SOUTH URALS: FIRST FIND IN RUSSIA

A.V. Kasatkin<sup>1</sup>, R. Škoda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fersman Mineralogical Museum of RAS, Leninskiy Pr. 18/2, Moscow, 119071 Russia; [anatoly.kasatkin@gmail.com](mailto:anatoly.kasatkin@gmail.com)

<sup>2</sup>Masaryk University, Kotlářská 2, Brno, 61137 Czech Republic

Терриуолласеит  $\text{AgPb}(\text{Sb,Bi})_3\text{S}_6$ , редкая сульфосоли лиллианитовой гомологической серии, установлен нами в образце из Кочкарского золоторудного месторождения (Челябинская обл.). Он образует зерна неправильной формы размером до  $0.4 \times 0.3$  мм и ассоциирует с Sb-содержащим висмутином, тетраэдритом-(Fe), арсенопиритом и минералами ряда тинтинаит–кобеллит. Эмпирическая формула терриуолласеита (средняя по восьми анализам):  $(\text{Ag}_{0.97}\text{Cu}_{0.07})_{\Sigma 1.04}(\text{Pb}_{0.94}\text{Cd}_{0.02})_{\Sigma 0.96}(\text{Bi}_{1.84}\text{Sb}_{1.17})_{\Sigma 3.01}(\text{S}_{5.99}\text{Se}_{0.01})_{\Sigma 6.00}$ . Параметры моноклинной элементарной ячейки:  $a = 6.992(2)$ ,  $b = 19.328(4)$ ,  $c = 8.381(10)$  Å,  $\beta = 107.68(7)^\circ$ ,  $V = 1079(1)$  Å<sup>3</sup>. Это первая достоверная находка данного минерала в России.

Илл. 3. Табл. 3. Библ. 24.

**Ключевые слова:** терриуолласеит, Кочкарское золоторудное месторождение, Южный Урал, первая находка минерала в России, лиллианитовая гомологическая серия.

Terrywallaceite,  $\text{AgPb}(\text{Sb,Bi})_3\text{S}_6$ , a rare sulfosalt of the lillianite homologous series, was found in a sample from the Kochkar Au deposit (Chelyabinsk oblast). It occurs as anhedral grains up to  $0.4 \times 0.3$  mm and is associated with Sb-bearing bismuthinite, tetrahedrite-(Fe), arsenopyrite and minerals of the tintinaite–kobellite series. Its average empirical formula based on eight analyses is as follows:  $(\text{Ag}_{0.97}\text{Cu}_{0.07})_{\Sigma 1.04}(\text{Pb}_{0.94}\text{Cd}_{0.02})_{\Sigma 0.96}(\text{Bi}_{1.84}\text{Sb}_{1.17})_{\Sigma 3.01}(\text{S}_{5.99}\text{Se}_{0.01})_{\Sigma 6.00}$ . The monoclinic unit cell dimensions are  $a = 6.992(2)$ ,  $b = 19.328(4)$ ,  $c = 8.381(10)$  Å,  $\beta = 107.68(7)^\circ$ ,  $V = 1079(1)$  Å<sup>3</sup>. This is the first reliable find of the mineral in Russia.

Figures 3. Tables 3. References 24.

**Key words:** terrywallaceite, Kochkar Au deposit, South Urals, first find of mineral in Russia, lillianite homologous series.

### Введение

Терриуолласеит  $\text{AgPb}(\text{Sb,Bi})_3\text{S}_6$  в качестве нового минерального вида был описан в образце из рудника Гермения (гор. 390, жила 14), департамент Уанкавелика, Перу. Свое название он получил в честь бывшего профессора Университета Аризо-

ны и куратора местного минералогического музея Терри С. Уолласа-младшего (Terry S. Wallace Jr.). На этом месторождении минерал образует черные пластинчатые кристаллы с металлическим блеском размером до 0.5 мм и ассоциирует с тетраэдритом, густавитом, баритом и пиритом (Yang et al., 2013). До присвоения терриуолласеиту статуса

минерального вида Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов ММА Р. Пажоут и М. Душек расшифровали кристаллическую структуру сульфосоли  $\text{AgPb}(\text{Bi}_2\text{Sb})_{23}\text{S}_{66}$  из рудного района Кутна Гора, в 60 км восточнее Праги (Чехия), которую они трактовали как «Sb-обогащенный густавит» (Pažout, Dušek, 2009). Впоследствии данный образец также был отнесен к терриуолласеиту (Yang et al., 2013; Pažout, 2017). Изучив с помощью электронно-зондового и рентгенодифракционного методов дополнительные образцы из жилы Староческе Пасмо рудного района Кутна Гора, Р. Пажоут обнаружил в них целый ряд сульфоселей лиллианитовой гомологической серии, включая минералы ряда густавит–терриуолласеит–староческеит–андорит, демонстрирующие даже в рамках одного зерна взаимные переходы друг в друга (Pažout, 2017).

Терриуолласеит был диагностирован электронно-зондовым методом в рудах медно-оловянного месторождения Цзялонг (провинция Гуанси, Южный Китай) в ассоциации с галенитом, самородным висмутом, халькопиритом и пирротинном (Liu et al., 2018) и полиметаллического месторождения Поопо (департамент Оруро, Боливия) в виде вростков в джемсоните или псевдоморфоз по нему (Torgres et al., 2019). В другом боливийском объекте – руднике Анимас, департамент Потоси – терриуолласеит отмечался без приведения каких-либо аналитических данных (Torgó et al., 2019).

Нами эта редкая сульфосоли установлена в образце, отобранном на Кочкарском золоторудном месторождении (Пластовский район, Челябинская обл) и переданном в 1975 г. Ю.С. Кобяшевым в одну из частных коллекций под названием «иорданит». В 2018 г. образец поступил на диагностику к первому автору настоящей работы. В результате проведенных исследований установлено отсутствие иорданита в образце и присутствие Sb-содержащего висмутита, тетраэдрита-(Fe) и минералов ряда тинтинаит–кобеллит. Находка тинтинаита была описана как первая достоверная на Урале, а, возможно, и в России (Касаткин, 2019). Впоследствии, в результате новых анализов в образце были дополнительно обнаружены арсенопирит и терриуолласеит. Описанная ниже находка терриуолласеита является первой для Урала и России, а в мире, вероятно, является шестой для данного минерального вида.

### Краткая историческая и геологическая характеристика объекта

Кочкарское месторождение золота является одним из старейших и крупнейших на Южном Урале. Начало его разработки датируется серединой XIX века. После того, как в 1842 г. указом Николая I был разрешен частный горный промысел на казачьих землях, в Пластовском районе, чьи земли принадлежали Оренбургскому казачьему войску, начали активно создаваться прииски, обрабатывавшие золотоносные россыпи. В 1868 г. в плотике одной из таких россыпей была найдена первая коренная жила с рудным золотом, после чего приоритетным на месторождении стал подземный способ добычи (Хайрятдинов, Федосеев, 2017).

За время существования месторождения из него добыто более 300 т золота. В настоящее время разработка месторождения осуществляется компанией ОАО «Южуралзолото Группа Компаний». Добыча ведется открытыми и подземными горными выработками. Среднее содержание золота в руде составляет 11 г/т. Предполагаемые золотые запасы месторождения на начало 2019 г. составляли около 10 т ([https://goldomania.ru/gold\\_deposits/russia/kochkarskoe.html](https://goldomania.ru/gold_deposits/russia/kochkarskoe.html)).

Кочкарское месторождение расположено в пределах дайкообразного Пластовского интрузива длиной около 30 км, принадлежащего к инверсионной адамеллит-гранодиорит-плагиогранитной формации и имеющего раннекаменноугольный возраст (Бородаевский и др., 1984; Спиридонов, 1995). Вертикальная протяженность Пластовского интрузива составляет 6–8 км. В пределах интрузива развиты сеть разломов, обусловивших его блоковое строение, и многочисленные трещины скосла, вмещающие дорудные и внутрирудные дайки гранитоид-порфиров, микродиоритов и спессартинов, большое число (более тысячи) золотоносных кварцевых и карбонат-кварцевых жил, а также послерудные дайки лампрофиров. Западная часть интрузива, вмещающая Кочкарское месторождение, находится в пределах Восточноуральского антиклинория на восточном склоне гранито-гнейсовокупольной структуры, в ядре которой расположен позднеорогенный Борисовский плутон биотитовых гранитов (P<sub>1</sub>) и пегматитоносных лейкогранитов (P<sub>2</sub>) (~260 млн лет). Граниты Борисовского массива рассекают адамеллиты и постгранитоидные дайки и оруденелые метасоматиты Пластовского массива

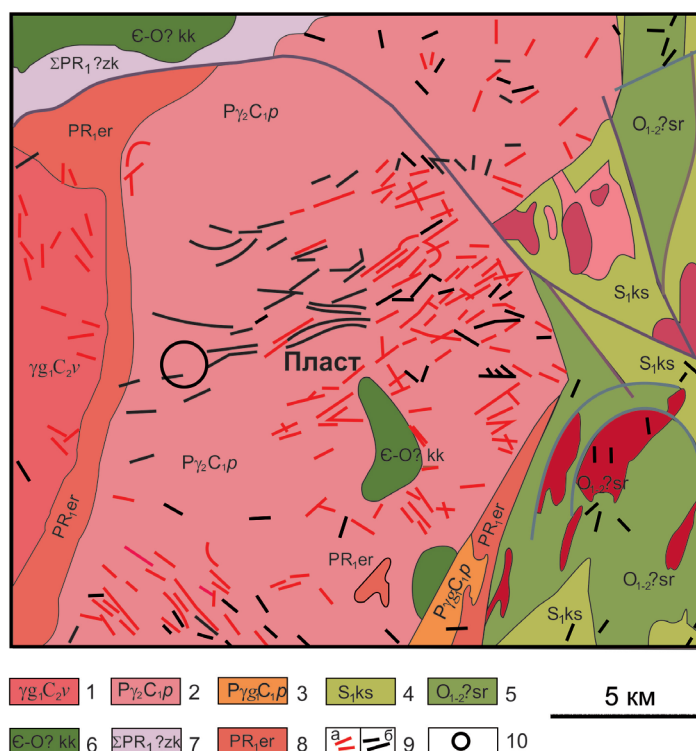


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кочкарского рудного поля по (Хайрятдинов, Федосеев, 2017).

1 – варшавский комплекс: гранитогнейсы, жильные полевошпатовые пегматиты; 2, 3 – пластовский комплекс: 2 – биотитовые плагиограниты и плагиогранито-гнейсы, 3 – жильные плагиограниты, плагиоаплиты, плагиопегматиты, метасоматиты; 4 – кособродская толща: туфы андезитобазальтов, андезитов, дацитов и риодацитов; 5 – саргазинская толща: вулканомиктовые песчаники, базальтовые брекчии, кремнистые алевролиты; 6 – кукушкинская толща: аркозовые, реже кварцевые метаспесчаники, метакогломераты и метаалевролиты; 7 – западно-кочкарский комплекс: антигорит-оливиновые породы, метагабброиды, клинопироксениты, горнблендиты; 8 – еремкинская толща: мигматизированные плагиосланцы, биотитовые плагиосланцы, полевошпатовые гнейсы; 9 – жилы: а – гранитные, б – гранит-пегматитовые; 10 – Кочкарское золоторудное месторождение.

Fig. 1. Schematic geological map of the Kochkar ore fields after (Khairyatdinov, Fedoseev, 2017).

1 – Varshavka complex: granite gneisses, vein feldspar pegmatites; 2, 3 – Plast complex: 2 – biotite plagiogranites and plagiogranite gneisses, 3 – vein plagiogranites, plagiopplites, metasomatites; 4 – Kosoy Brod Sequence: tuffs of basaltic andesites, andesites, dacites, and rhyodacites; 5 – Sargazy Sequence: volcanomictic sandstones, basaltic breccias, siliceous siltstones; 6 – Kukushka Sequence: arkose (rare quartz) metasandstones, metaconglomerates and metasiltstones; 7 – West Kochkar complex: antigorite-olivine rocks, metagabbroids, clinopyroxenites, hornblendites; 8 – Eremkino Sequence: migmatized plagiосchists, biotite plagiосchists, feldspar gneisses; 9 – veins: a – granite, б – granite pegmatite; 10 – Kochkar gold deposit.

и содержат их ксенолиты. Вертикальная мощность Борисовского гранитного массива составляет около 10 км, его восточный контакт погружается под Пластовский массив (рис. 1).

Большинство даек подверглось глубокому метаморфизму, превратившему их в характерную для Кочкарского месторождения темную породу — «табашку», состоящую из биотита, амфибола, полевых шпатов, эпидота, хлорита, граната, турмалина, кварца и карбонатов (Бородаевский и др., 1984; Спиридонов, 1996). Максимальное число даек «табашек» совпадает с общим контуром рас-

пространения оруденения, которое на Кочкарском месторождении представлено жилами и жильными зонами золотокварцевых убого сульфидных руд. Золотоносные кварцевые жилы локализованы в крутопадающих разрывах, которые в значительной мере наследуют более древнюю дайковую систему. Жилы развиты преимущественно вдоль контактов или внутри даек «табашек». Протяженность рудных жил по простиранию обычно составляет 300–600 м, по падению – до 1000 м и более. Мощности жил чаще всего варьируют от 0.5 до 1.0 м, угол падения – 80–90°.

Несмотря на то, что изученный нами образец поступил без подробной геологической привязки, по составу встреченных в нем минералов предполагается, что он был отобран из юго-западного блока месторождения, вскрытого шахтами Трифоновская и Партизан. Только для метаморфизованных руд этого блока характерна серебряная минерализация, и, в частности, именно здесь, в Трифоновской жиле был найден и описан густавит – единственный из Ag-содержащих членов лиллианитовой гомологической серии, установленный на месторождении до нашей находки (Спиридонов, 1996). Для этих руд также отмечены преобладание арсенопирита над пиритом и обогащенность висмутин сурьмой (Спиридонов, 1996), характерные и для изученного нами образца.

К сожалению, имеющаяся информация не дает однозначного представления о последовательности минералообразования в изученном нами образце. Тем не менее, можно предположить, что блеклая руда и Sb-содержащий висмутин кристаллизовались раньше Bi-Sb-сульфосолей (терриуолласеита и тинтинаита–кобеллита), и, в таком случае, первые могли стать источником Ag, Bi и Sb для вторых.

### Методы исследования

Образец исследован в лабораториях Минералогического музея имени А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва), Департамента геологических наук факультета науки Масарикова университета (г. Брно, Чехия) и Департамента наук о Земле Университета Падуи (г. Падуа, Италия).

Оптические свойства минералов изучались в аншлифах с помощью рудного микроскопа, микроморфология и химический состав – методами сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа с применением как энергодисперсионного, так и волново-дисперсионного спектрометров.

Анализ с использованием энергодисперсионного спектрометра проводился на сканирующем электронном микроскопе CamScan-4D с системой анализа INCA при ускоряющем напряжении 20 кВ, поглощенном токе 5 нА и на металлическом кобальте, использованном в качестве эталона (аналитик А.В. Касаткин). Анализ на волново-дисперсионном спектрометре проводился на микроанализаторе Cameca SX 100 (аналитик Р. Шкода). Условия анализа: ускоряющее напряжение 25 кВ, сила тока

электронного зонда 10 нА, диаметр электронного зонда на поверхности образца – 2 мкм, время накопления импульсов на пике 10 с, на фоне – 5 с). Определявшиеся элементы, аналитические рентгеновские линии и стандарты:  $SK\alpha$  – халькопирит;  $CuK\alpha$  – Cu;  $AsL\beta$  – парараммельсбергит;  $SeL\beta$  и  $PbM\alpha$  – PbSe;  $AgL\alpha$  – Ag;  $CdL\beta$  – Cd;  $SbL\beta$  – Sb;  $BiM\beta$  – Bi.

Для получения рентгенодифракционных данных предварительно изученные электронно-зондовым методом зерна извлекались из шлифов и анализировались с помощью монокристалльного дифрактометра Agilent SuperNova с детектором Pilatus 200K Dectris, на  $MoK\alpha$ -излучении при ускоряющем напряжении 50 кВ и силе тока 0.8 мА (аналитик Ф. Нестола). Расстояние образец-детектор составляло 68 мм, время экспозиции 60 мин.

### Результаты

Изученный образец содержит свинцово-серые массивные сульфидно-сульфосолевые агрегаты с металлическим блеском в сростании с кварцем (рис. 2). Изучение этих агрегатов электронно-зондовым методом показывает, что они сложены, главным образом, блеклой рудой и висмутином с подчиненным количеством арсенопирита. Для блеклой руды характерно резкое преобладание Cu над Ag, Sb над As и Fe над Zn. Согласно недавно принятой номенклатуре блеклых руд, такой состав отвечает тетраэдриту-(Fe) (Biagioni et al., 2020). Висмутин существенно обогащен Sb (до 22 мас. %). В тетраэдрите-(Fe) и Sb-содержащем висмутине фиксируются многочисленные вростки минералов ряда тинтинаит–кобеллит размером до 0.8 мм. Соотношение Sb и Bi в сульфосолях этого ряда колеблется: большая часть точек составов лежит в поле тинтинаита ( $Sb > Bi$ ), меньшая отвечает его Bi-аналогу – кобеллиту. Химический состав всех минералов приведен в таблице 1. Для тинтинаита–кобеллита также получены параметры ромбической элементарной ячейки:  $a = 22.464(12) \text{ \AA}$ ,  $b = 34.023(9) \text{ \AA}$ ,  $c = 4.0334(14) \text{ \AA}$ ,  $V = 3083(2) \text{ \AA}^3$  (монокристалльные рентгеновские данные).

Терриуолласеит обнаружен в виде редких зерен неправильной формы размером до  $0.4 \times 0.3$  мм, сростающихся с тетраэдритом-(Fe) и Sb-содержащим висмутином (рис. 3). Цвет терриуолласеита свинцово-серый, блеск металлический. Наблюдается отчетливая спайность, вероятно, по





Рис. 2. Свинцово-серые массивные агрегаты тесно срастающихся между собой терриуолласеита, Sb-содержащего висмутина, тетраэдрита-(Fe), арсенопирита и минералов ряда тинтинаит–кобеллит.

Размер образца 1.5 × 1.5 × 0.8 см. Фото А.Д. Касаткина.

Fig. 2. Massive lead gray aggregates of terrywallaceite intimately intergrown with Sb-bearing bismuthinite, tetraehdrite-(Fe), arsenopyrite and minerals of the tintinaite–kobellite series.

Sample size is 1.5 × 1.5 × 0.8 cm. Photo by A.D. Kasatkin.

Таблица 1

**Химический состав (мас. %) сульфидов и сульфосолей, ассоциирующих с терриуолласеитом из Кочкарского месторождения**

Table 1

**Chemical composition (wt. %) of sulfides and sulfosalts associated with terrywallaceite from the Kochkar deposit**

№ п/п	Cu	Ag	Fe	Zn	Cd	Pb	As	Sb	Bi	S	Se	Сумма
1	33.47	7.87	6.02	0.40	0.26	–	0.81	27.16	0.34	24.63	–	100.96
2	–	–	–	–	–	–	–	21.13	58.06	21.60	–	100.79
3	–	–	34.87	–	–	–	45.04	–	–	19.65	–	99.56
4	2.06	–	–	–	–	35.06	–	17.77	25.78	18.93	–	99.60
5	2.28	0.89	–	–	0.16	33.22	0.05	16.62	29.31	19.25	0.08	101.86
Эмпирические формулы												
1	$(\text{Cu}_{8.88}\text{Ag}_{1.23})_{\Sigma 10.11}(\text{Fe}_{1.82}\text{Zn}_{0.10}\text{Cd}_{0.04})_{\Sigma 1.96}(\text{Sb}_{3.76}\text{As}_{0.18}\text{Bi}_{0.03})_{\Sigma 3.97}\text{S}_{12.96}$											
2	$(\text{Bi}_{1.23}\text{Sb}_{0.77})_{\Sigma 2.00}\text{S}_{2.99}$											
3	$\text{Fe}_{1.02}\text{As}_{0.98}\text{S}_{1.00}$											
4	$\text{Pb}_{10.04}\text{Cu}_{1.92}(\text{Sb}_{8.66}\text{Bi}_{7.32})_{\Sigma 15.98}\text{S}_{35.05}$											
5	$(\text{Pb}_{9.31}\text{Ag}_{0.48}\text{Cd}_{0.08})_{\Sigma 9.87}\text{Cu}_{2.08}(\text{Bi}_{8.15}\text{Sb}_{7.93}\text{As}_{0.04})_{\Sigma 16.12}(\text{S}_{34.87}\text{Se}_{0.06})_{\Sigma 34.93}$											

Примечание. 1 – Тетраэдрит-(Fe); 2 – Sb-содержащий висмутин; 3 – арсенопирит; 4 – тинтинаит; 5 – кобеллит. Каждый из номеров по порядку – среднее по результатам трех анализов. Здесь и далее, прочерк – содержание компонента ниже предела обнаружения. Формулы рассчитаны на сумму всех атомов, равную 29 (№ 1), 5 (№ 2), 3 (№ 3) и 63 (№ 4, 5).

Note. 1 – Tetrahedrite-(Fe); 2 – Sb-bearing bismuthinite; 3 – arsenopyrite; 4 – tintinaite; 5 – kobellite. Each number is an average of three analyses. Here and hereinafter, dash – the content of the element is below detection limit. The formulas are recalculated to atom sum of 29 (no. 1), 5 (no. 2), 3, (no. 3) and 63 (nos. 4, 5).

Таблица 2

Table 2

## Химический состав терриуолласеита из Кочкарского и других месторождений (мас. %)

## Chemical composition (wt. % and apfu) of terrywallasceite from the Kochkar and other deposits

№ ан	Cu	Ag	Pb	Cd	Bi	Sb	As	S	Se	Сумма	Коэффициенты в формуле										$N_{chem}$	L %	x	Bi/ (Bi + Sb)
											Cu	Ag	Pb	Cd	Bi	Sb	As	S	Se					
1	0.47	10.56	19.41	0.30	38.23	13.87	–	19.04	0.05	101.93	0.07	0.99	0.94	0.03	1.84	1.15	–	5.98	0.01	4.00	100	1.00	0.62	
2	0.44	10.35	19.02	0.30	37.9	13.81	–	18.91	0.06	100.79	0.07	0.97	0.93	0.03	1.84	1.15	–	5.99	0.01	4.00	100	1.00	0.62	
3	0.46	10.51	19.14	0.30	37.49	14.1	–	18.99	0.12	101.11	0.07	0.98	0.93	0.03	1.81	1.17	–	5.98	0.02	4.26	97.67	1.11	0.61	
4	0.46	10.41	19.08	0.26	37.81	14.25	–	18.83	–	101.1	0.07	0.98	0.93	0.02	1.84	1.19	–	5.96	–	4.00	105	1.05	0.61	
5	0.47	9.98	19.15	–	37.28	14.01	–	18.82	0.06	99.77	0.08	0.95	0.95	–	1.83	1.18	–	6.01	0.01	3.88	103.9	0.98	0.61	
6	0.44	10.04	19.16	0.20	38.17	13.87	–	18.83	0.06	100.77	0.07	0.95	0.94	0.02	1.86	1.16	–	5.99	0.01	4.13	101.2	1.08	0.62	
7	0.5	10.02	19.19	0.17	37.31	14.05	0.06	18.87	–	100.17	0.08	0.95	0.94	0.02	1.82	1.18	0.01	6.00	–	4.13	101.2	1.08	0.61	
8	0.41	10.16	19.12	0.10	37.45	13.73	0.03	18.67	0.03	99.7	0.07	0.97	0.95	0.01	1.84	1.16	–	6.00	–	4.18	100.71	1.10	0.61	
9	<b>0.46</b>	<b>10.25</b>	<b>19.16</b>	<b>0.20</b>	<b>37.7</b>	<b>13.96</b>	<b>0.01</b>	<b>18.87</b>	<b>0.05</b>	<b>100.66</b>	<b>0.07</b>	<b>0.97</b>	<b>0.94</b>	<b>0.02</b>	<b>1.84</b>	<b>1.17</b>	–	<b>5.99</b>	<b>0.01</b>	<b>4.09</b>	<b>101.22</b>	<b>1.06</b>	<b>0.61</b>	
10	–	11.19	18.22	–	31.1	18.94	0.45	19.32	–	99.24	–	1.02	0.87	–	1.47	1.53	0.06	5.94	–	3.94	106.25	1.03	0.49	
11*	0.03	10.33	20.41	0.01	39.4	12.18	–	18.63	0.08	101.08	–	0.99	1.02	–	1.95	1.03	–	6.00	0.01	4.02	98.75	0.99	0.65	
12**	0.19	10.09	19.03	0.19	26.55	20.12	–	19.51	–	98.29	0.03	0.91	0.89	0.02	1.24	1.61	–	5.92	–	3.88	103.3	0.97	0.44	
13***	0.43	9.80	21.38	–	34.08	13.95	0.21	19.05	0.79	100.27	0.07	0.91	1.04	–	1.64	1.15	0.03	5.96	0.1	4.31	93.56	1.08	0.59	

*Примечание.* Терриуолласеит из: 1–9 – Кочкарского месторождения (данная работа, 9 – среднее значение); 10 – рудника Герминия, Перу (Yang et al., 2013); 11 – рудного района Кутна Гора, Чехия, среднее значение по 6 образцам, рассчитано нами по данным (Pažout, 2017); 12 – месторождения Поопо, Боливия, среднее значение для 2 анализов, рассчитано нами по данным (Torres et al., 2019); 13 – месторождения Цзялонг, Китай (Liu et al., 2018).

Анализы содержат: \* – Fe 0.01 мас.%, \*\* – (мас.%/а.ф.): Fe 0.84/0.15, Zn 1.43/0.21, Ge 0.09/0.01, Sn 0.25/0.02; \*\*\* – (мас.%/а.ф.): Fe 0.58/0.10.

Формульные коэффициенты рассчитаны на сумму всех атомов, равную 11.

*Note.* Terrywallasceite from: 1–9 – Kochkar deposit (this study; 9 – average value); 10 – Herminia Mine, Peru (Yang et al., 2013); 11 – Kutná Hora ore district, Czech Republic, average of 6 samples; our calculation is based on data of (Pažout, 2017); 12 – Poopo deposit, Bolivia, average of 2 analyses; our calculation is based on data of (Torres et al., 2019); 13 – Jialong deposit, China (Liu et al., 2018).

The analyses include: \* – Fe 0.01 wt. %, \*\* – (wt. %/apfu): Fe 0.84/0.15, Zn 1.43/0.21, Ge 0.09/0.01, Sn 0.25/0.02; \*\*\* – (wt. %/apfu) Fe 0.58/0.10.

The formulas are recalculated to atom sum of 11.

Рис. 3. Зерно терриуолласеита (Trw) в сростании с тетраэдритом-(Fe) (Tet) и Sb-содержащим висмутинитом (Bsm).

BSE фото.

Fig. 3. Terrywallaceite (Trw) grain intergrown with tetrahedrite-(Fe) (Tet) and Sb-bearing bismuthinite (Bsm).

BSE photo.

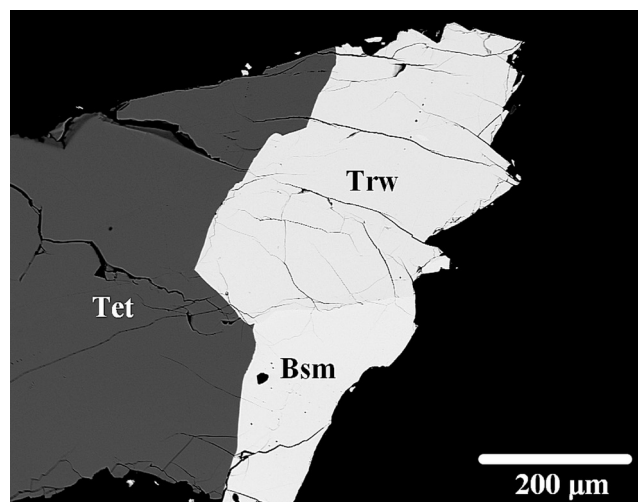


Таблица 3

Параметры элементарных ячеек терриуолласеита из Кочкарского и других месторождений

Table 3

Unit cell dimensions of terrywallaceite from the Kochkar and other deposits

№	<i>a</i> , Å	<i>b</i> , Å	<i>c</i> , Å	$\beta$ , °	<i>V</i> , Å <sup>3</sup>
1	6.992(2)	19.328(4)	8.381(10)	107.68(7)	1079(1)
2	6.9764(4)	19.3507(10)	8.3870(4)	107.519(2)	1079.7(1)
3	7.0455(6)	19.5294(17)	8.3412(1)	107.446(10)	1094.9(2)
4	7.068(6)	19.612(14)	8.216(7)	107.29(6)	1087.4(1)
5	7.056(9)	19.592(14)	8.235(9)	107.34(8)	1086.6(1)

*Примечание.* Все параметры ячеек уточнены по монокристалльным данным. Терриуолласеит из: 1 – Кочкарского месторождения (наши данные); 2 – рудника Герминия, Перу (Yang et al., 2013); 3 – рудного района Кутна Гора, Чехия (Pažout, Dušek, 2009); 4, 5 – рудного района Кутна Гора, Чехия (Pažout, 2017).

*Note.* All unit cell dimensions are refined on the basis of single-crystal diffraction data. Terrywallaceite from: 1 – Kochkar deposit (this study); 2 – Herminia Mine, Peru (Yang et al., 2013); 3 – Kutná Hora ore district, Czech Republic (Pažout, Dušek, 2009); 4, 5 – Kutná Hora ore district, Czech Republic (Pažout, 2017).

{010}, по аналогии с голотипом из Перу (Yang et al., 2013). В отражённом свете минерал белый, в скрещенных николях – слабо анизотропный, от голубовато-серого до темно-серого. Наблюдаются слабые двуотражение и плеохроизм, от белого до светло-серого.

Химический состав уральского терриуолласеита в сравнении с терриуолласеитом из других местонахождений (рудник Герминия, Перу; рудный район Кутна Гора, Чехия; месторождения Поопо, Боливия, и Цзялонг, Китай) показан в табл. 2. Параметры элементарных ячеек терриуолласеита из разных месторождений приведены в табл. 3.

### Обсуждение

Терриуолласеит является одним из членов лиллианитовой гомологической серии, объединя-

ющей сульфосоли, структуры которых рассматриваются как производные от структуры лиллианита  $Pb_3Bi_2S_6$ . Они состоят из чередующихся слоев с галенитоподобной структурой, сдвоенных по плоскости, соответствующей (131) у галенита, и расположенных параллельно (010). Между галенитоподобными слоями в плоскости двойникования находятся координационные полиэдры в виде тригональных призм, занятые атомами Pb. В октаэдрах галенитоподобных слоев размещаются атомы Ag, Pb, Bi и Sb, и именно здесь может иметь место изоморфное гетеровалентное замещение по схеме  $2Pb^{2+} \leftrightarrow Ag^+ + Bi^{3+}(Sb^{3+})$ , именуемой густавитовой (Makovicky, Karup-Möller, 1977; Makovicky, Tora, 2014).

Общая формула минералов лиллианитовой гомологической серии –  $Pb_{N-1-2x}Bi_{2+x}AgS_{x^{N+2}}$  (Makovicky, Tora, 2014), где гомологический порядковый номер *N* соответствует количеству окта-

здоров в определенном сечении галенитоподобного слоя, а  $x$  – это коэффициент гетеровалентного густавитового замещения. Как известно, значение  $N$  можно определить, либо зная кристаллическую структуру минерала ( $N_{\text{cryst}}$ ), либо исходя из данных химического анализа ( $N_{\text{chem}}$ ). В терриуолласеите структурно обусловленное целочисленное значение  $N_{\text{cryst}} = 4$ , а для определения  $N_{\text{chem}}$  используется формула  $N_{\text{chem}} = [1 / (\text{Bi} + 0.5\text{Pb} - 0.5)] - 1$ , где значения  $\text{Bi}$  и  $\text{Pb}$  соответствуют количеству атомов на формулу, определяемому по данным химического анализа при расчете на  $\text{Ag} + \text{Pb} + \text{Bi} = 1$  (Makovicky, Tora, 2014; Makovicky, 2019). Для среднего химического состава терриуолласеита из Кочкарского месторождения (табл. 2, ан. 9) по этой формуле  $N_{\text{chem}} = 4.09$ , что хорошо согласуется с  $N_{\text{cryst}} = 4$  и, как мы надеемся, свидетельствует о высоком качестве наших электронно-зондовых анализов. Для расчета коэффициента густавитового замещения применяется формула  $x = [(L\%) * (N_{\text{chem}} - 2)] / 200$ , где  $L\%$  – это процент густавитового замещения. Он рассчитывается по формуле  $L\% = 1 - [(2\text{Bi} - \text{Pb} - 1) / 6(\text{Bi} + 0.5\text{Pb} - 5/6)]$ , где  $\text{Bi}$  и  $\text{Pb}$  нормализованы на  $\text{Ag} + \text{Pb} + \text{Bi} = 1$  (Makovicky, Tora, 2014; Makovicky, 2019), и является еще одной важной характеристикой минералов лиллианитовой гомологической серии (см. ниже).

Все минералы данной серии принято делить на  $\text{Bi}$ -члены (лиллианитовая ветвь) и  $\text{Sb}$ -члены (андоритовая ветвь). Несмотря на то, что идеальная формула терриуолласеита записывается как  $\text{AgPb}(\text{Sb}, \text{Bi})_3\text{S}_6$ , его относят к висмутовым членам. Объясняется это следующим обстоятельством. В структуре минерала присутствуют четыре октаэдрических позиции: одна занята  $\text{Ag}$  в координации  $4 + 2$ , а три других ( $\text{M1}$ ,  $\text{M2}$ ,  $\text{M3}$ ) – смешанные  $\text{Bi}$ - $\text{Sb}$ -позиции в координации  $3 + 3$ , причем в двух позициях ( $\text{M1}$  и  $\text{M2}$ )  $\text{Bi} > \text{Sb}$ , в то время как большая часть  $\text{Sb}$  предпочитает концентрироваться в позиции  $\text{M3}$  (Yang et al., 2013). Таким образом, корректная структурная формула терриуолласеита записывается как  $\text{AgPb}(\text{Sb}, \text{Bi})(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_6$  (Yang et al., 2013; Pažout, 2017). В этом принципиальное отличие терриуолласеита от изотипного ему густавита  $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$ , в структуре которого в каждой из трех позиций  $\text{M1}$ ,  $\text{M2}$  и  $\text{M3}$  доминирует висмут (Makovicky, Tora, 2011).

До описания терриуолласеита вопрос взаимозамещения  $\text{Bi}$  и  $\text{Sb}$  в структурах представителей лиллианитовой гомологической серии глубоко не исследовался. Большой вклад в это был сделан

Р. Пажоутом, обнаружившим в образцах из рудного района Кутна Гора непрерывный ряд твердых растворов сульфосолей лиллианитовой гомологической серии с  $N_{\text{cryst}} = 4$ : густавита, терриуолласеита, староческеита и андорита. Им было предложено считать взаимозамещение  $\text{Bi}^{3+} \leftrightarrow \text{Sb}^{3+}$  вторым важнейшим замещением для данной гомологической серии после густавитового, а соотношение атомных количеств  $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb})$ , определяемое исходя из электронно-зондовых данных – показателем, необходимым для отнесения того или иного образца к конкретному минеральному виду, наряду с параметрами  $L\%$  и  $x$ . Исходя из сказанного, к густавиту было предложено относить образцы, имеющие составы с  $L\% = 60-109$  и  $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb}) > 0.75$ , к терриуолласеиту – с  $L\% = 85-113$  и  $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb}) < 0.75$ , к староческеиту – с  $L\% = 65-75$  и  $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb}) \approx 0.50$  и к андориту-IV – с  $L\% = 85-93$  и  $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb}) < 0.50$  (Pažout, 2017). Особняком здесь стоит староческеит  $\text{Ag}_{0.70}\text{Pb}_{1.60}(\text{Bi}_{1.35}\text{Sb}_{1.35})_{\Sigma 2.70}\text{S}_6$  (Pažout, Sejkora, 2018). В отличие от остальных минералов этого ряда, кристаллизующихся в моноклинной сингонии и пространственной группе  $P2_1/c$ , староческеит имеет ромбическую симметрию с пространственной группой  $Cmcm$ , представляя собой новый гомеотип ряда густавит–андорит (Pažout, 2017).

Кристаллическая структура образца из Кочкарского месторождения не уточнялась, и его принадлежность к терриуолласеиту базируется на электронно-зондовых и монокристалльных рентгеновских данных. По своему химическому составу (табл. 2, ан. 1–8) уральский минерал однороден и по средним параметрам ( $L = 101.22\%$ ,  $x = 1.06$ ,  $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb}) = 0.61$ ) соответствует полю терриуолласеита в соответствии с рекомендациями Р. Пажоута. В химическом отношении образец из Кочкарского месторождения наиболее близок к терриуолласеиту из Чехии (табл. 2, ан. 11), в то время как образцы из других месторождений существенно отличаются либо по показателю  $L\%$ , либо по соотношению  $\text{Bi} / (\text{Bi} + \text{Sb})$  (табл. 2, ан. 10, 12, 13; рис. 4). Сравнение параметров моноклинных элементарных ячеек уральского образца и структурно изученных образцов из Перу и Чехии также однозначно подтверждает принадлежность минерала из Кочкарского месторождения к терриуолласеиту (табл. 3).

### Заключение

На страницах журнала «Минералогии» регулярно публикуются статьи и сообщения о находках



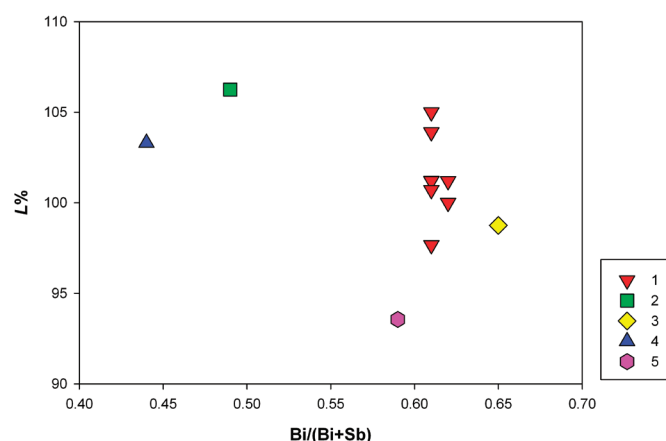


Рис. 4. Соотношение параметра  $Bi / (Bi + Sb)$  и процента густавитового замещения ( $L\%$ ) в терриуолласеите из Кочкарского месторождения и других объектов.

1 – Кочкарское месторождение; 2 – рудник Гермения, Перу; 3 – рудный район Кутна Гора, Чехия; 4 – месторождение Поопо, Боливия; 5 – месторождение Цзялонг, Китай.

Fig. 4. Correlation between  $Bi/(Bi + Sb)$  ratio and percent of gustavite substitution ( $L\%$ ) in terrywallaceite from the Kochkar and other deposits.

1 – Kochkar deposit; 2 – Herminia Mine, Peru; 3 – Kutná Hora ore district, Czech Republic; 4 – Poopó deposit, Bolivia; 5 – Jialong deposit, China.

редких российских минералов. Многие из таких находок являются первыми на территории нашей страны или ее отдельных регионов (например, Касаткин и др., 2015, 2019а, б; Попова и др., 2019а,б; Прибавкин и др., 2017; Шведов и др., 2019), а описываемые при этом минералы пополняют общероссийский и региональные кадастры. Помимо свежесобранного каменного материала важным источником для таких находок являются старые образцы из музейных собраний и частных систематических коллекций. Переизучение их современными аналитическими методами нередко приводит к результатам, подобным тем, что описаны в настоящей статье. Полагаем, что данное направление в исследовательской деятельности стоит всячески развивать, ибо в нем – залог новых открытий и интересных публикаций.

Авторы благодарны Ф. Нестоле (Университет г. Падуа, Италия) – за монокристалльную съемку терриуолласеита, а И.В. Пекову – за ценные комментарии и редакторскую правку статьи.

### Литература

Бородаевский Н.И., Черемисин А.А., Яновский В.М., Покусаев В.И. (1984) Кочкарское месторождение. Золоторудные месторождения. Т. 1. М., Недра, 54–95.

Касаткин А.В. (2019) Новые находки редких минералов на территории постсоветских государств. *Минералогический Альманах*, **24**(2), 4–47.

Касаткин А.В., Еланчинцев С.Г., Нестола Ф. (2015) Дингдаохенгит-(Ce) с Обуховского увала, Южный Урал: первая находка в России. *Минералогия*, **3**, 3–7.

Касаткин А.В., Шкода Р., Кузнецов А.М. (2019а) Алланит-(Nd) из Сапфириновой копи, Южный Урал: первая находка в России. *Минералогия*, **5**(1), 15–23.

Касаткин А.В., Шкода Р., Нестола Ф., Кузнецов А.М., Белогуб Е.В., Агаханов А.А. (2019б) Рентгенит-(Ce) и другие фторкарбонаты РЗЭ из жилы № 35, Вишнёвые горы, Южный Урал. *Минералогия*, **5**(2), 10–22.

Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А., Котляров В.А., Касаткин А.В., Шкода Р., Лебедева С.М. (2019а) Новые находки редких минералов в пегматитах Вишнёвых гор на Южном Урале. *Минералогия*, **5**(1), 3–14.

Попова В.И., Попов В.А., Касаткин А.В., Кузнецов А.М. (2019б) Минералы группы эшинита из Вишнёвых гор (Южный Урал). *Минералогия*, **5**(3), 16–25.

Прибавкин С.В., Козлов П.С., Мазур С.В., Готтман И.А., Замятин Д.А., Сустанов С.Г. (2017) Самородный висмут, вейлендит и бейерит — первая находка в аллювиальных золотоносных россыпях Заангарья Енисейского Кряжа. *Минералогия*, **2**, 3–13.

Спиридонов Э.М. (1995) Минералогия метаморфизованного Кочкарского плутогенного золото-кварцевого месторождения, Южный Урал. 1. Золото-теллуридные руды (новые минералы  $Bi-Pb-Te-S$ ; кочкарит, раклиджит, алексит, золото, монтбрейит, теллуриды и сульфиды  $Bi$ ). *Записки ВМО*, **124**(6), 24–39.

Спиридонов Э.М. (1996) Минералогия метаморфизованного Кочкарского плутогенного золото-квар-

цевого месторождения, Южный Урал. 2. Золото-висмутиновые руды (галенит-шапбахит, Bi- и Bi-Sb-прустит, As-Bi-стефанит, густавит, золото, Bi-гессит, хедлиит, теллуржозеит, икунолит, галеновисмутит, бончевит, висмут). *Записки ВМО*, **125**(6), 1–10.

**Хайрятдинов Р.К., Федосеев В.В.** (2017) История добычи золота на Южном Урале. *Горный журнал*, **9**, 46–50.

**Шведов Г.И., Перфилова О.Ю., Мавринская С.А., Сильянов С.А., Лобастов Б.М.** (2019) Ленгенбахит Кочковского золоторудного месторождения (Забайкальский край). *Минералогия*, **5**(4), 30–38.

**Biagioni C., George L.L., Cook N.J., Makovicky E., Moëlo Y., Pasero M., Sejkora J., Stanley C.J., Welch M.D., Bosi F.** (2020) The tetrahedrite group: nomenclature and classification. *American Mineralogist*, в печати, DOI: <https://doi.org/10.2138/am-2020-7128>.

**Liu J., Chen W., Liu Q.** (2018) Sb-Bi alloys and Ag-Cu-Pb-Sb-Bi sulphosalts in the Jialong Cu-Sn deposit in North Guangxi, South China. *Minerals*, **8**(1), 26.

**Makovicky E.** (2019) Algorithms for calculations of homologue order  $N$  in the homologous series of sulfosalts. *European Journal of Mineralogy*, **31**, 83–97.

**Makovicky E., Karup-Möller S.** (1977) Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part 1. General properties and definitions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlugen*, **130**, 264–287.

**Makovicky E., Topa D.** (2011) The crystal structure of gustavite,  $\text{PbAgBi}_3\text{S}_6$ . Analysis of twinning and polytypism using the OD approach. *European Journal of Mineralogy*, **23**, 537–550.

**Makovicky E., Topa D.** (2014) Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part 1. General properties and definitions. *Mineralogical Magazine*, **78**(2), 387–414.

**Pažout R.** (2017) Lillianite homologues from Kutná Hora ore district, Czech Republic: a case of large-scale Sb for Bi substitution. *Journal of Geosciences*, **62**, 37–57.

**Pažout R., Dušek M.** (2009) Natural monoclinic  $\text{AgPb}(\text{Bi}_2\text{Sb})_3\text{S}_6$ , Sb-rich gustavite. *Acta Crystallographica*, **C65**, i77–i80.

**Pažout R., Sejkora J.** (2018) Staročeskéite,  $\text{Ag}_{0.70}\text{Pb}_{1.60}(\text{Bi}_{1.35}\text{Sb}_{1.35})_{\Sigma 2.70}\text{S}_6$ , from Kutná Hora, Czech Republic, a new member of the lillianite homologous series. *Mineralogical Magazine*, **82**(4), 993–1005.

**Torres B., Melgarejo J.C., Torró L., Camprubí A., Castillo-Oliver M., Artiaga D., Campeny M., Tauler E., Jiménez-Franco A., Alfonso P., Arce-Burgoa O.R.** (2019) The Poopó polymetallic epithermal deposit, Bolivia: mineralogy, genetic constraints, and distribution of critical elements. *Minerals*, **9**(8), 472.

**Torró L., Cazorla M., Melgarejo J.C., Camprubí A., Tarrés M., Gemmrich L., Campeny M., Artiaga D., Torres B., Martínez A., Mollinedo D., Alfonso P., Arce-Burgoa O.R.** (2019) Indium mineralization in the volcanic dome-hosted Ánimas-Chocaya-Siete Suyos polymetallic deposit, Potosí, Bolivia. *Minerals*, **9**(10), 604.

**Yang H., Downs R.T., Evans S.H., Pinch W.W.** (2013) Terrywallaceite,  $\text{AgPb}(\text{Sb,Bi})_3\text{S}_6$ , isotypic with gustavite, a new mineral from Mina Herminia, Julcani mining district, Huancavelica, Peru. *American Mineralogist*, **98**(7), 1310–1314.

## References

**Biagioni C., George L.L., Cook N.J., Makovicky E., Moëlo Y., Pasero M., Sejkora J., Stanley C.J., Welch M.D., Bosi F.** (2020) The tetrahedrite group: nomenclature and classification. *American Mineralogist*, in press, DOI: <https://doi.org/10.2138/am-2020-7128>.

**Borodaevskiy N.I., Cheremisin A.A., Yanovskiy V.M., Pokusaev V.I.** (1984) [Kochkar deposit]. In: *Zolotorudnye mestorozhdeniya [Gold deposits]*. Vol. 1., Moscow, Nedra, 54–95 (in Russian).

**Kasatkin A.V.** (2019) New findings of rare minerals from former Soviet Union countries. *Mineralogical Almanac*, **24**(2), 4–47.

**Kasatkin A.V., Epanchintsev S.G., Nestola F.** (2015) [Dingdaohengite-(Ce) from Obukhovskiy Uval, South Urals: first find in Russia]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **3**, 3–7 (in Russian).

**Kasatkin A.V., Škoda R., Kuznetsov A.M.** (2019a) [Allanite-(Nd) from Sapfirinovaya Pit, Southern Urals: first find in Russia]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(1), 15–23 (in Russian).

**Kasatkin A.V., Škoda R., Nestola F., Kuznetsov A.M., Belogub E.V., Agakhanov A.A.** (2019b) [Röntgenite-(Ce) and other REE fluorocarbonates from vein no. 35, Vishnevye Mountains, Southern Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(2), 10–22 (in Russian).

**Khayryatdinov R.K., Fedoseev V.V.** (2017) [History of gold mining at the South Urals]. *Gorny Zhurnal [Mining Magazine]*, **9**, 46–50 (in Russian).

**Liu J., Chen W., Liu Q.** (2018) Sb-Bi alloys and Ag-Cu-Pb-Sb-Bi sulphosalts in the Jialong Cu-Sn deposit in North Guangxi, South China. *Minerals*, **8**(1), 26.

**Makovicky E.** (2019) Algorithms for calculations of homologue order  $N$  in the homologous series of sulfosalts. *European Journal of Mineralogy*, **31**, 83–97.

**Makovicky E., Karup-Möller S.** (1977) Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part 1. General properties and definitions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlugen*, **130**, 264–287.

**Makovicky E., Topa D.** (2011) The crystal structure of gustavite,  $\text{PbAgBi}_3\text{S}_6$ . Analysis of twinning and polytypism using the OD approach. *European Journal of Mineralogy*, **23**, 537–550.

**Makovicky E., Topa D.** (2014) Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part 1. General properties and definitions. *Mineralogical Magazine*, **78**(2), 387–414.

**Pažout R.** (2017) Lillianite homologues from Kutná Hora ore district, Czech Republic: a case of large-scale Sb for Bi substitution. *Journal of Geosciences*, **62**, 37–57.

- Pažout R., Dušek M.** (2009) Natural monoclinic  $\text{AgPb}(\text{Bi}_2\text{Sb})_3\text{S}_6$ , Sb-rich gustavite. *Acta Crystallographica*, **C65**, i77–i80.
- Pažout R., Sejkora J.** (2018) Staročeskéite,  $\text{Ag}_{0.70}\text{Pb}_{1.60}(\text{Bi}_{1.35}\text{Sb}_{1.35})_{\Sigma 2.70}\text{S}_6$ , from Kutná Hora, Czech Republic, a new member of the lillianite homologous series. *Mineralogical Magazine*, **82**(4), 993–1005.
- Popova V.I., Popov V.A., Blinov I.A., Kotlyarov V.A., Kasatkin A.V., Škoda R., Lebedeva S.M.** (2019a) [New findings of rare minerals in pegmatites of Vishnevye Mountains in the South Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(1), 3–14 (in Russian).
- Popova V.I., Popov V.A., Kasatkin A.V., Kuznetsov A.M.** (2019b) [Aeschnite group minerals from Vishnevye Mountains (South Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(3), 16–25 (in Russian).
- Pribavkin S.V., Kozlov P.S., Mazur S.V., Gottman I.A., Zamyatin D.A., Sustavov S.G.** (2017) [The first finding of native bismuth, waylandite and beyerite in alluvial gold placer deposits of Angara Region, Yenisey ridge]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **2**, 3–13 (in Russian).
- Shvedov G.I., Perfilova O.Yu., Mavrinskaya S.A., Sil'yanov S.A., Lobastov B.M.** (2019) [Lengenbachite from the Kochkovskoe gold deposit (Zabayalsky Krai)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5**(4), 30–38 (in Russian).
- Spiridonov E.M.** (1995) [Mineralogy of the Kochkar metamorphosed plutogene gold-quartz deposit, South Urals. 1. Gold-telluride ores (new Bi-Pb-Te-S minerals; kochkarite, ruklidgeite, alexite, gold, montbrayite, Bi tellurides and sulfides)]. *Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, **124**(6), 24–39 (in Russian).
- Spiridonov E.M.** (1996) [Mineralogy of the Kochkar metamorphosed plutogene gold-quartz deposit, South Urals. 2. Gold-bismuthinite ores (galena-schappbachite, Bi- and Bi-Sb-proustite, As-Bi-stephanite, gustavite, gold, Bi hessite, hedleyite, tellurjoseite, ikonolite, galenobismuthinite, bontschevite, bismuth)]. *Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, **125**(6), 1–10 (in Russian).
- Torres B., Melgarejo J.C., Torró L., Camprubí A., Castillo-Oliver M., Artiaga D., Campeny M., Tauler E., Jiménez-Franco A., Alfonso P., Arce-Burgoa O.R.** (2019) The Poopó polymetallic epithermal deposit, Bolivia: mineralogy, genetic constraints, and distribution of critical elements. *Minerals*, **9**(8), 472.
- Torró L., Cazorla M., Melgarejo J.C., Camprubí A., Tarrés M., Gemmrich L., Campeny M., Artiaga D., Torres B., Martínez A., Mollinedo D., Alfonso P., Arce-Burgoa O.R.** (2019) Indium mineralization in the volcanic dome-hosted Ánimas–Chocaya–Siete Suyos polymetallic deposit, Potosí, Bolivia. *Minerals*, **9**(10), 604.
- Yang H., Downs R.T., Evans S.H., Pinch W.W.** (2013) Terrywallaceite,  $\text{AgPb}(\text{Sb},\text{Bi})_3\text{S}_6$ , isotypic with gustavite, a new mineral from Mina Herminia, Julcani mining district, Huancavelica, Peru. *American Mineralogist*, **98**(7), 1310–1314.

Статья поступила в редакцию 25 февраля 2020 г.