

УДК 549.3, 549.4, 549.7, 553.46 (470.55)

DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-3-2

**РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ БУРАНОВСКОГО  
ВОЛЬФРАМОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)****А.В. Касаткин<sup>1</sup>, А.М. Кузнецов<sup>2</sup>, Н.А. Арзамасцев<sup>3</sup>**<sup>1</sup> Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр. 18/2, г. Москва, 119071 Россия;  
anatoly.kasatkin@gmail.com<sup>2</sup> ул. Октябрьская 5-337, г. Челябинск, 454071 Россия<sup>3</sup> ул. Куйбышева 25-43, г. Магнитогорск, 455023 Россия

Статья поступила в редакцию 20.06.2022 г., принята к печати 14.07.2022 г.

**ORE MINERALS OF THE BURANOVSKOE TUNGSTEN DEPOSIT  
(SOUTHERN URALS)****A.V. Kasatkin<sup>1</sup>, A.M. Kuznetsov<sup>2</sup>, N.A. Arzamastsev<sup>3</sup>**<sup>1</sup> Fersman Mineralogical Museum RAS, Leninskiy pr. 18/2, Moscow, 119071 Russia;  
anatoly.kasatkin@gmail.com<sup>2</sup> ul. Oktyabrskaya 5-337, Chelyabinsk, 454071 Russia<sup>3</sup> ul. Kuibysheva 25-43, Magnitogorsk, 455023 Russia

Received 20.06.2022, accepted 14.07.2022

**Аннотация.** В отвалах Бурановского вольфрамового месторождения (Челябинская обл.) обнаружена рудная минерализация, представленная гипогенными и гипергенными минералами Pb, Bi, Te, Cu, Mo, Ag, Au и Hg. В статье представлен максимально полный на сегодня минеральный кадастр месторождения, включающий информацию из литературных источников и оригинальные данные авторов. Установлено 14 теллуридов и сульфотеллуридов, которые отдельно и в сростках друг с другом и с простыми сульфидами образуют многочисленные включения в блёклых рудах (минералы серий тетраэдрита и теннантита) в составе кварц-шеелитовых жил. Среди продуктов окисления блёклых руд, галенита и тетрадимита выявлены редкие гипергенные минералы – перит и теллуроперит, образующие на месторождении ограниченный ряд твердых растворов, а также чолоалит и сульфид-йодид Ag и Hg, по составу отвечающий ханауэриту. Находки теллуроперита и хитачиита являются первыми на территории Российской Федерации, находки перита и чолоалита – первые на Урале.

**Ключевые слова:** Бурановское вольфрамовое месторождение, Южный Урал, рудная минерализация, кадастр минералов, теллуриды, сульфотеллуриды, хитачиит, перит, теллуроперит, чолоалит.

**Abstract.** Primary and supergene Pb, Bi, Te, Cu, Mo, Ag, Au and Hg minerals are found in samples from the dumps of the Buranovskoe tungsten deposit (Chelyabinsk oblast). The paper presents the most complete list of mineral species of the deposit based on available literature and our data. Fourteen tellurides and sulfotellurides are identified. They occur as individual grains and intergrowths with each other or simple sulfides and form numerous inclusions in fahlores in quartz-scheelite veins. Among the oxidation products of fahlores, galena and tetradymite, we found rare supergene minerals – telluroperite and perite, which form a limited solid solution series, as well as choloalite and a Ag and Hg sulfide-iodide corresponding to hanauerite by its chemical composition. The findings of telluroperite and hitachiite are the first at the territory of the Russian Federation and perite and choloalite are found for the first time in the Urals.

**Keywords:** Buranovskoe tungsten deposit, Southern Urals, ore mineralization, mineral list, tellurides, sulfotellurides, hitachiite, telluroperite, perite, choloalite.

## Введение

Бурановское (Ново-Бурановское) месторождение вольфрама ( $53^{\circ}19'59''$  с.ш. и  $59^{\circ}31'50''$  в.д.) расположено в 35 км к востоку от г. Магнитогорска Челябинской области и в 1 км к востоку от пос. Новобурановка. Вместе с расположенными севернее Балканским и Требиатским (Требиатским или Требиинским) месторождениями оно составляет Гумбейскую группу вольфрамовых месторождений. Последняя в литературных источниках нередко называется Гумбейским месторождением, а составляющие ее три вышеназванных месторождения именуются участками.

Бурановское месторождение было открыто в 1927 г. специальной геологоразведочной и съемочной партией Уральского отделения Геологического Комитета под руководством А.П. Смолина (Смолин, 1929). После разведки, продолжавшейся четыре года, месторождение было передано в эксплуатацию. Основными рудными минералами являлись шеелит и сопутствующие молибденит и халькопирит. Щелевым способом в основном разрабатывались зоны сближенных субпараллельных кварц-шеелитовых прожилков, которые здесь назывались жилами. В таких рудоносных зонах-жилах содержание  $WO_3$  составляло 0.2–0.5 %. В 1955 г. эксплуатация месторождения была прекращена в связи с отработкой до глубины 150–200 м основных продуктивных жил (Золоев и др., 2004). За это время на Бурановском и соседнем Балканском месторождениях было суммарно добыто более 2 тыс. т  $WO_3$  (Состояние ..., 2021).

Первооткрыватель Гумбейской группы месторождений К.К. Матвеев (1928) отмечал, что они представляют собой «новый тип, резко отклоняющийся от известных типов вольфрамовых месторождений». Специфичные для этого нового типа месторождений кварц-карбонат-полешпатовые метасоматиты, развитые около кварц-шеелитовых жил, Д.С. Коржинский (1955) назвал гумбеитами.

Минералогия шеелитоносных жил месторождений Гумбейской группы, включая Бурановское, а затем и гумбеитов активно изучалась в разные годы К.К. Матвеевым (1928, 1929), А.П. Смолиным (1929), А.А. Фаворским (1940, 1945, 1948), И.С. Степановым (1933а, б; 1954), П.В. Покровским (1961), Э.М. Спиридоновым с соавторами (1996, 1997, 1998), М.В. Середкиным (1995, 1996, 2000), в том числе в соавторстве с Н.Н. Кононковой (1997) и И.П. Лапутиной (1997), и рядом других ученых. В указанных работах подробно охарактеризованы жильные минералы: кварц, калиевый полевой шпат (по мнению одних авторов, ортоклаз (Матвеев, 1929; Степанов, 1933а; Золоев и др., 2004), по мнению других – микроклин (Спиридонов и др., 1997; Середкин, 2000) или переходные разности от микроклина к ортоклазу (Фаворский, 1945)), альбит, карбонаты (доломит, кальцит, магнезит), слюды (биотит, мусковит, флогопит), тальк и др.

Из рудных минералов больше всего внимания закономерно уделялось шеелиту. Он (включая молибденосодержащую разновидность) подробно изучен в целом ряде работ (Смолин, 1929; Степанов, 1933а; Фаворский, 1940; Гаврусевич, 1957; Середкин, 1996; Середкин, Кононкова, 1997; Середкин, Лапутина, 1997; Спиридонов и др., 1997 и др.).

Что касается остальных рудных минералов, то для Бурановского месторождения в разное время и разными авторами отмечались азурит, айкинит, анкерит, арсенопирит, борнит, вульфенит, галенит, гетит, золото, колумбит, «купрошеелит» (купротунгстит), малахит, молибденит, молибдит, пирит, пирротин, рутил, сидерит, стронцианит, тетраэдрит, «ферритунгстит» (гидрокеноэзлсмореит), целестин, штольцит (Матвеев, 1928; Смолин, 1929; Степанов, 1933а, б; Рубель, Апполов, 1937; Середкин, 1996, 2000). Ряд других минералов – барит, гематит, гессит, джемсонит, ковеллин, монацит, теннантит, тетрадимит, титанит, церуссит – указывался для Гумбейской группы месторождений или Гумбейского рудного поля без привязки к конкретному месторождению (Матвеев, 1928, 1929; Юшкин и др.,

---

*Для цитирования:* Касаткин А.В., Кузнецов А.М., Арзамасцев Н.А. Рудные минералы Бурановского вольфрамового месторождения (Южный Урал). Минералогия, **8**(3), 23–46. DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-3-2

*For citation:* Kasatkin A.V., Kuznetsov A.M., Arzamastsev N.A. Ore minerals of the Buranovskoe tungsten deposit (Southern Urals). Mineralogy, **8**(3), 23–46. DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-3-2.

---



Рис. 1. Вид Бурановского вольфрамового месторождения в апреле 2022 г.  
Фото Н.А. Арзамасцева.  
Fig. 1. View of the Buranovskoe W deposit in April 2022.  
Photo by N.A. Arzamastsev.

1986; Спиридонов и др., 1996, 1997, 1998; Середкин, 2000 и др.).

Первая и до настоящего времени единственная попытка создания минерального кадастра Бурановского месторождения была предпринята А.П. Смолиным по результатам геологической разведки еще до ввода месторождения в промышленную эксплуатацию. В статье (Смолин, 1929) названо 14 минералов, в том числе 9 рудных (шеелит, тетраэдрит, галенит, пирит, халькопирит, молибденит, лимонит, «медная зелень» (малахит) и «медная синь» (азурит)), ранжированных по степени распространенности.

Почти век спустя авторами настоящей работы составлен новый кадастр минералов месторождения. При подготовке перечня минералов Бурановского месторождения учтены сведения из многочисленных литературных источников и наши собственные данные (табл. 1). Минеральные виды, не встреченные авторами настоящей статьи на Бурановском месторождении и отнесенные в литературе к Гумбейской группе месторождений, указаны в подтабличном комментарии.

Всего в кадастр включено 82 минерала. Из них 35 установлены нами впервые для Бурановского месторождения, главным образом в результате изучения чрезвычайно интересной рудной минерализации, обнаруженной одним из авторов (Н.А. Арзамасцев) в образцах, собранных летом 2021 и весной 2022 гг. на отвалах старого рудника (рис. 1).

Эти образцы представляют собой фрагменты кварц-полевошпат-шеелитовых жил с наложенной сульфидной (галенит, молибденит, халькопирит, пирит) и сульфосолевой (айкинит, блёклые руды) минерализацией. Изучение этих образцов в аншлифах методами оптической микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа выявило в них интересный набор гипогенных и гипергенных рудных минералов, в том числе новых для месторождения, Урала и России. Ниже приводится подробное описание этих минералов, в том числе с учетом уже имеющихся литературных данных о них.

#### **Краткая геологическая характеристика объекта**

Бурановское вольфрамовое месторождение находится на территории Балканско-Бурановского рудного района Магнитогорской металлогенической мегазоны. На площади района (около 140 км<sup>2</sup>) располагается узкий пояс Гумбейской группы вольфрамовых месторождений субмеридионального простирания протяженностью 15 км, среди которых Бурановское является наиболее крупным (Золоев и др., 2004).

Бурановское месторождение вмещается среднепалеозойской эффузивно-осадочной толщей, прорванной одноименным граносиенитовым массивом, который обнажается на площади 9 км<sup>2</sup> (рис. 2). Восточный и юго-восточный экзоконтак-

Таблица 1

## Минералы Бурановского вольфрамового месторождения

Table 1

## Minerals of the Buranovskoe tungsten deposit

Минерал	Формула	Распространение	
		I	II
Самородные элементы			
Самородное золото	Au	++	
Самородный теллур*	Te	+	
Сульфиды			
Арсенопирит	FeAsS	?	
Борнит	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	++	
Галенит	PbS	++++	
Ковеллин	CuS		++
Молибденит	MoS <sub>2</sub>	++++	
Пирит	FeS <sub>2</sub>	++++	
Пирротин	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	?	
Сфалерит*	ZnS	+	
Халькозин*	Cu <sub>2</sub> S		++
Халькопирит	CuFeS <sub>2</sub>	++++	
Теллуриды и сульфотеллуриды			
Алтаит*	PbTe	++	
Вольфскит*	AgBiTe <sub>2</sub>	+	
Гессит	Ag <sub>2</sub> Te	+++	
Колорадоит*	HgTe	+	
Кочкарит*	PbBi <sub>4</sub> Te <sub>7</sub>	+	
Мелонит*	NiTe <sub>2</sub>	++	
Петцит*	Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub>	+	
Раклиджит*	PbBi <sub>2</sub> Te <sub>4</sub>	+	
Саддлебакит*	Pb <sub>2</sub> Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	+	
Сильванит*	AgAuTe <sub>4</sub>	+	
Теллуровисмутит*	Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	+++	
Тетрадимит*	Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> S	+++	
Хитачиит*	Pb <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> S <sub>6</sub>	+	
Штютцит*	Ag <sub>5-x</sub> Te <sub>3</sub> (x = 0.24-0.36)	+	
Сульфосоли			
Айкинит	CuPbBiS <sub>3</sub>	+++	
Берриит*	Cu <sub>3</sub> Ag <sub>2</sub> Pb <sub>3</sub> Bi <sub>7</sub> S <sub>16</sub>	+	
Виттихенит*	Cu <sub>3</sub> BiS <sub>3</sub>	+	
Теннантит-(Fe)	Cu <sub>6</sub> (Cu <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> )As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	+++	
Тетраэдрит-(Fe)*	Cu <sub>6</sub> (Cu <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> )Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	++++	
Тетраэдрит-(Zn)	Cu <sub>6</sub> (Cu <sub>4</sub> Zn <sub>2</sub> )Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	++	
Эмплектит*	CuBiS <sub>2</sub>	+	
Галогениды, оксигалогениды и сульфогалогениды			
Иодаргирит*	AgI		++
Перит*	PbBiO <sub>2</sub> Cl		+
Теллуруперит*	Pb <sub>3</sub> Te <sup>4+</sup> O <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>		+
Ханауэрит*	AgHgSI		+
Оксиды, гидроксиды, теллуриды			
Гётит	FeO(OH)		++++
Гидрокеноэзсмореит	□ <sub>2</sub> W <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (H <sub>2</sub> O)		++
Кварц	SiO <sub>2</sub>	++++	
Колумбит	Fe <sup>2+</sup> Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub> – Mn <sup>2+</sup> Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	?	
Магнетит	Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	+++	
Молибдит	MoO <sub>3</sub>		?
Рутил	TiO <sub>2</sub>	+++	
Теллурит или парателлурит*	TeO <sub>2</sub>		++
Чолоалит*	CuPb(TeO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		+

Карбонаты			
Азурит	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$		+++
Анкерит	$\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2$	?	
Бейерит*	$\text{CaBi}_2\text{O}_2(\text{CO}_3)_2$		+
Бисмутит*	$\text{Bi}_2\text{O}_2(\text{CO}_3)$		++
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	++++	
Кальцит	$\text{CaCO}_3$	++++	
Магнезит	$\text{MgCO}_3$	+++	
Малахит	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$		+++
Сидерит	$\text{FeCO}_3$	?	
Стронцианит	$\text{SrCO}_3$	?	
Церуссит	$\text{PbCO}_3$		+++
Сульфаты			
Англезит*	$\text{PbSO}_4$		+++
Барит	$\text{BaSO}_4$	+++	
Целестин	$\text{SrSO}_4$	++	
Вольфраматы и молибдаты			
Вульфенит	$\text{PbMoO}_4$		+++
Купротунгстит	$\text{Cu}^{2+}_3(\text{WO}_4)_2(\text{OH})_2$		++
Повеллит*	$\text{CaMoO}_4$		+
Шеелит	$\text{CaWO}_4$	++++	
Штольцит	$\text{PbWO}_4$		++
Арсенаты и фосфаты			
Миметизит*	$\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$		++
Фторапатит	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	+++	
Силикаты			
Авгит	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	++++	
Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	++++	
Биотит	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	++++	
Гранат	$X_3Y_2(\text{SiO}_4)_3$	+++	
Диопсид*	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	++	
Клинохлор* <sup>1</sup>	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	+++	
Магнезиоферригорнблендит* <sup>2</sup>	$\square\text{Ca}_2(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	+++	
Микроклин	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	++++	
Мусковит	$\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$	+++	
Ортоклаз	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	++++	
Тальк	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	+++	
Титанит	$\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$	+++	
Флогопит	$\text{KAl}_2([\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$	+++	
Циркон*	$\text{Zr}(\text{SiO}_4)$	++	
Эпидот	$\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Fe}^{3+})[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$	++++	

*Примечание.* I, II – гипогенные (I) и гипергенные (II) минералы. Степень распространенности минералов: +++++ – главные жильные и рудные, +++ – распространенные, ++ – мало распространенные, + – редкие; \* – минералы, впервые для месторождения установленные авторами; ? – информация о распространенности минерала в литературном источнике отсутствует. <sup>1</sup> – минерал указан как «хлорит» в работах (Степанов, 1933а, б); <sup>2</sup> – минерал указан как «роговая обманка» в работах (Смолин, 1929; Степанов, 1933б). Нижеперечисленные минералы в литературе относятся к «Гумбейским месторождениям» или «месторождениям Гумбейского рудного поля»: опал, хризоколла, фосфаты меди (Матвеев, 1928), гроссуляр, каолинит (Матвеев, 1929), джемсонит (Юшкин и др., 1986), актинолит, андрадит, гидрогроссуляр, клинозоизит (Середкин, 1995), гематит, монацит (Спиридонов и др., 1997).

*Note.* I, II – hypogene (I) and supergene (II) minerals. Abundance of minerals: +++++ – major gangue and ore, +++ – abundant, ++ – subordinate, + – rare; \* – minerals identified by the authors for the first time at the deposit; ? – no information is available on the abundance of the mineral in literature. <sup>1</sup> – The mineral is indicated as «chlorite» by Stepanov (1933a, b); <sup>2</sup> – the mineral is indicated as «hornblende» by Smolin (1929) and Stepanov (1933b). The following minerals in literature are attributed to the «Gumbeyka deposits» or «deposits of the Gumbeyka ore field»: opal, chrysocolla, copper phosphates (Matveev, 1928), grossular, kaolinite (Matveev, 1929), jamesonite (Yushkin et al., 1986), actinolite, andradite, hydrogrossular, clinozoisite (Seredkin, 1995), hematite, monazite (Spiridonov et al., 1997).

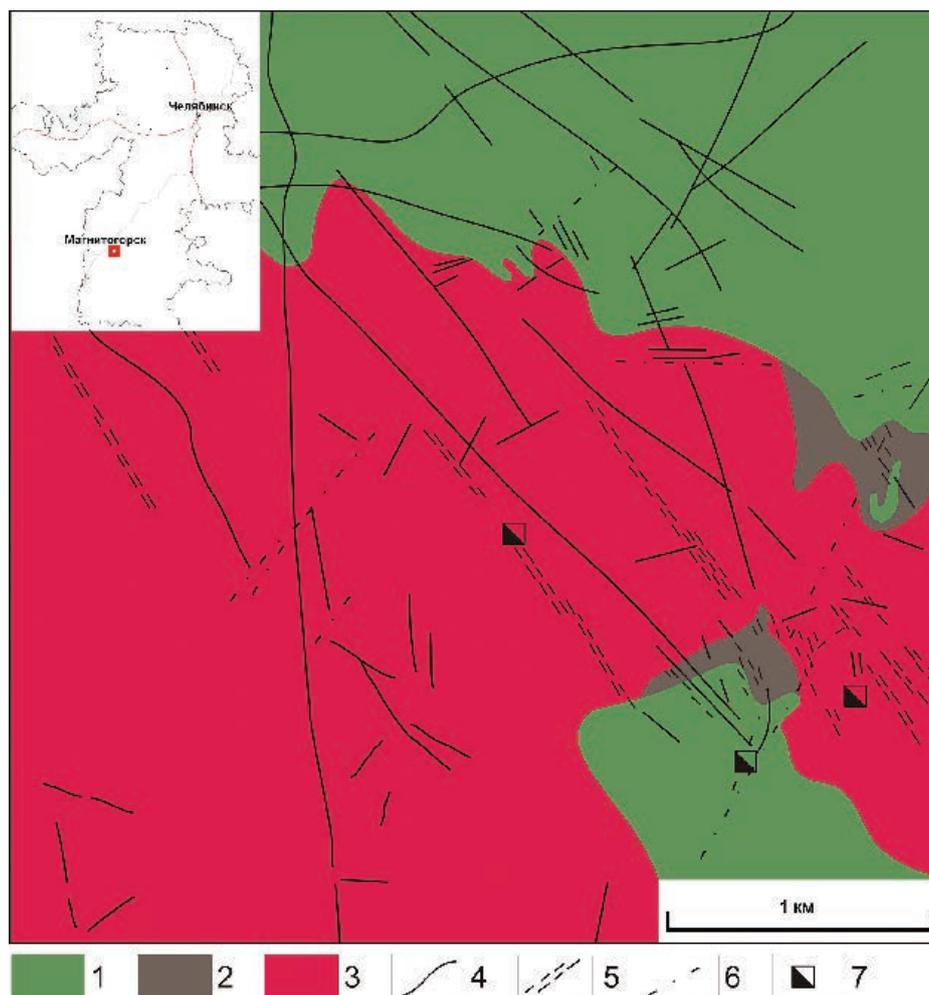


Рис. 2. Геологическое строение Бурановского месторождения, по (Золоев и др., 2004) с изменениями.

1 – порфириты, амфибол-биотит-полевошпатовые и эпидотизированные породы; 2 – гранат-эпидот-пироксеновые скарны; 3 – граносиениты, сиениты монцодиорит-гранитовой формации; 4 – аплиты, гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры; 5 – зоны стущения шеелитонесущих кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилков; 6 – разрывные нарушения; 7 – шахты.

Fig. 2. Geological structure of the Buranovskoe deposit, modified after (Zoloev et al., 2004).

1 – porphyrites, amphibole-biotite-feldspar and epidotized rocks; 2 – garnet-epidote-pyroxene skarns; 3 – granosyenites, syenites of the monzodiorite-granite complex; 4 – aplites, porphyry granites, porphyry plagiogranites; 5 – zones of concentration of scheelite-bearing quartz and quartz-feldspar veinlets; 6 – faults; 7 – mines.

ты массива сложены метаморфизованными известково-туфовыми породами. Породы северного экзоконтакта массива представлены авгитовыми порфиритами, частично амфиболизированными, биотитизированными и эпидотизированными, с линзами гранат-эпидотовых скарнов (Коржинский, 1959; Смолин, 1975; Белов, Фролов, 1984; Золоев и др., 2004). По мнению (Середкин, 1995, 2000; Спиридонов и др., 1997) за скарны здесь принимаются гранат-эпидотовые родингиты с титаносодержащим гидрогроссуляром и андрадитом. В пределах массива широко развиты кварцевые жилы с оторочками гумбеитов. Жилы прослеживаются на рас-

стояния от 250 до 700 м, имеют мощность от 0.1 до 0.5 м и крутое ( $80^{\circ}$ – $85^{\circ}$ ) падение на юго-восток. Мощность гумбеитовых оторочек около жил – 3–15 см (Степанов, 1933а; Белов, Фролов, 1984; Середкин, 1996; Спиридонов и др., 1997; Середкин, 2000; Золоев и др., 2004). Типы кварцевых жил и сопряженных с ними гумбеитов, последовательность их возникновения и минеральный состав подробно изучены в работах (Спиридонов и др., 1996, 1997, 1998; Середкин, 1996; Середкин, Кононкова, 1997; Середкин, 2000). Гумбеитизация особенно интенсивно проявлена в зонах дробления в дайках преимущественно кислого состава, сложенных аплита-

ми, гранит-порфирами и плагиогранит-порфирами. В дайках локализованы рудные штокверки, несущие вольфрамовое (шеелит), сульфидное (галенит, молибденит, пирит, халькопирит) и сульфосолевое (блѣклые руды) оруденение. Подробно штокверковый тип оруденения в дайках Бурановского месторождения описан в работе (Белов, Фролов, 1984). Именно дайки служили объектом отработки в годы промышленной эксплуатации месторождения, поэтому изученная в настоящей статье богатая рудная минерализация, очевидно, относится именно к вышеуказанному штокверковому типу.

### Методы исследования

Оптические свойства рудных минералов в отраженном свете исследованы под поляризационными микроскопами МИН-8 с опак-иллюминатором ОИ-12 и Carl Zeiss Axio Imager.A1m в воздухе и в иммерсии с использованием кедрового масла (показатель преломления  $n_d = 1.516$ ). Микроморфология и химический состав минералов изучены методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа с применением энергодисперсионного спектрометра. Химический состав минералов проанализирован на сканирующем электронном микроскопе Hitachi FlexSEM 1000 с ЭДС-детектором Xplore Contact 30 и системой анализа Oxford AZtecLive STD при ускоряющем напряжении 20 кВ для самородных элементов, сульфидов, теллуридов и сульфосолей и 15 кВ для галогенидов и кислородных соединений и поглощенном токе 5 нА на эталоне – металлическом кобальте (аналитик – А.В. Касаткин). Определявшиеся элементы, аналитические рентгеновские линии и стандарты: AlK $\alpha$  – кианит; SiK $\alpha$  – SiO<sub>2</sub>; SK $\alpha$  – ZnS и BaSO<sub>4</sub>; ClK $\alpha$  – TlCl; CaK $\alpha$  – CaF<sub>2</sub>; TiK $\alpha$  – Ti; VK $\alpha$  – V; CrK $\alpha$  – Cr; FeK $\alpha$  – FeS<sub>2</sub>; NiK $\alpha$  – Ni; CuK $\alpha$  – Cu; ZnK $\alpha$  – Zn; AsL $\beta$  – GaAs; SrL $\alpha$  – SrF<sub>2</sub>; ZrL $\alpha$  – Zr; MoL $\alpha$  – Mo; AgL $\alpha$  – Ag; CdL $\beta$  – Cd; SbL $\beta$  – Sb; TeL $\beta$  – HgTe; IL $\alpha$  – TlI; BaL $\alpha$  – BaSO<sub>4</sub>; WL $\alpha$  – WO<sub>3</sub>; HfL $\alpha$  – Hf; AuM $\alpha$  – Au; HgM $\alpha$  – HgTe; PbM $\alpha$  – PbSe и PbWO<sub>4</sub>; BiM $\beta$  – Bi и Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>. Монокристалльное рентгеновское исследование айкинита выполнено И.В. Пековым на дифрактометре XCalibur S CCD (MoK $\alpha$ -излучение). На СЭМ изображениях использованы символы, утвержденные Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (Warr, 2021).

### Результаты исследований

Изученные образцы состоят главным образом из кварца, калиевого полевого шпата и шеелита. Последний хорошо диагностируется по характерному голубому свечению в ультрафиолетовых лучах (коротковолновый диапазон,  $\lambda = 245$  нм). Реже встречаются такие жильные минералы, как альбит, доломит, кальцит, мусковит и фторапатит. Диагностированные рудные минералы описаны ниже в порядке, соответствующем традиционной химической классификации.

### Самородные элементы

Самородное золото для Бурановского месторождения впервые отмечено И.С. Степановым (1933б). Нами оно встречено в виде редких ксеноморфных зерен до 20 мкм в кварце, халькопирите и блѣклой руде в ассоциации с различными теллуридами. Самородное золото представлено Ag-содержащей разновидностью (до 14.9 мас.% Ag).

Самородный теллур чрезвычайно редок. Он найден в виде включений до 15 мкм (рис. 3а) в кварце в ассоциации с тетраэдритом-(Fe) и теллуридами, и, возможно, образуется за счет последних. В составе теллура примеси других элементов не установлены.

### Сульфиды

Главные сульфиды месторождения – галенит, молибденит, пирит и халькопирит. Их присутствие в губейских шеелитоносных жилах отмечено еще К.К. Матвеевым (1928), но впервые именно для Бурановского месторождения они указаны А.П. Смолиным (1929), а описаны здесь И.С. Степановым (1933а, б). Эти сульфиды повсеместно встречаются в кварц-полевошпат-шеелитовых жилах, образуя выделения до нескольких сантиметров как по отдельности, так и в тесных срастаниях друг с другом и с различными сульфосолями, в первую очередь блѣклыми рудами и айкинитом (рис. 3г, е, 4д, ж, з). Молибденит часто встречается в зальбандах кварцевых жил.

Арсенопирит, борнит и пирротин отмечены в списке минералов рудоносных жил месторождения (Степанов, 1933а). Пирротин был позднее обнаружен на отвалах одной из шахт в составе метасоматитов, сложенных флогопитом, доломитом, тальком, магнезитом с подчиненным количеством кварца.

ца (Середкин, 2000). Из указанных сульфидов нами встречен только борнит. Он образует мелкие (до 10 мкм) округлые включения в халькопирите и гетите. Минерал диагностирован по химическому составу.

*Ковеллин и халькозин* – единственные на Бурановском месторождении гипергенные сульфиды, развивающиеся участками до 100 мкм по трещинам в айкините, блёклым рудам, галените и халькопирите (рис. 3б). Минералы диагностированы по химическому составу (только Cu и S в отношении 1:1 и 2:1, соответственно) и характерным оптическим свойствам.

*Сфалерит* в изученных образцах найден один раз в виде нескольких включений размером не более 50 мкм в кварце в ассоциации с тетраэдритом-(Zn) и многочисленными теллуридами. Минерал идентифицирован по химическому составу и оптическим свойствам. В остальных образцах цинк присутствует только в составе блёклых руд.

### Сульфосоли

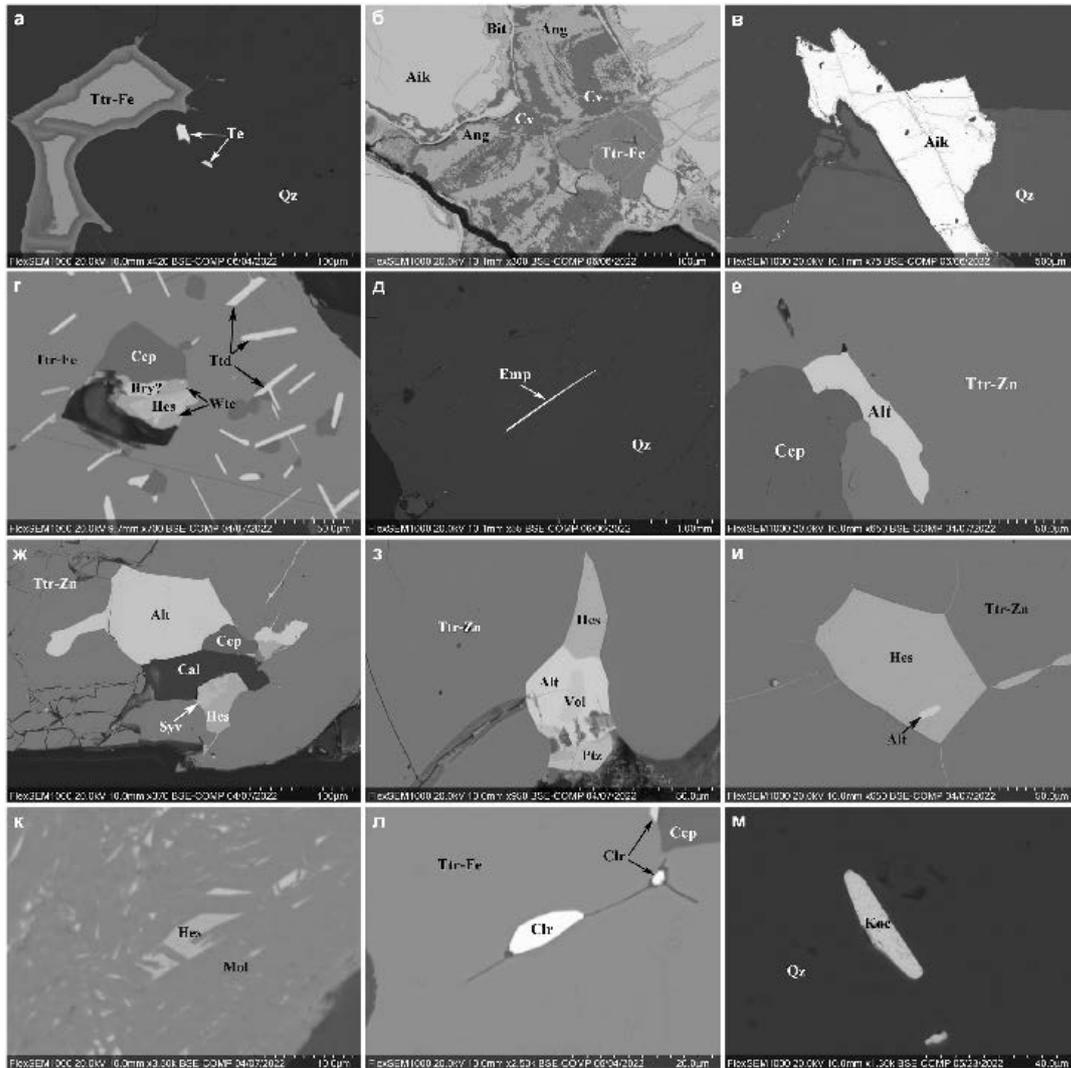
*Айкинит* в кварц-шеелитовых жилах Бурановского месторождения обнаружен И.С. Степановым (1933а). Э.М. Спиридонов с соавторами (1997) приводит химический состав айкинита применительно к Гумбейскому рудному полю без указания точного месторождения. В нем установлены небольшие примеси Hg и Sb. Нами встречены крупные (до  $2.0 \times 0.2$  см) линзы айкинита в кварц-кальцитовых жилах в ассоциации с сульфидами (галенит, молибденит, халькопирит), тетраэдритом-(Fe) и гипергенными минералами (англезит, бисмутит, вульфенит, малахит, церуссит) (рис. 3б, в). Химический состав минерала приведен в табл. 2. Параметры его ромбической элементарной ячейки, определенные монокристалльным методом:  $a = 11.78(2)$ ,  $b = 4.11(3)$ ,  $c = 11.38(9)$  Å,  $V = 550(6)$  Å<sup>3</sup>.

*Берриит* предположительно диагностирован нами по химическому составу (табл. 2) в сростке размером 50 мкм с виттихенитом, гесситом, халькопиритом и тетраэдритом-(Fe) в кварц-полевошпат-шеелитовом прожилке (рис. 3г). Размер включения берриита –  $15 \times 5$  мкм.

*Блёклые руды* широко распространены на месторождении. Еще А.П. Смолин (1929) отмечал присутствие тетраэдрита в Бурановских шеелитовых жилах. В работах Э.М. Спиридонова с соавторами (1996, 1997, 1998) изучены блёклые руды Гумбейского рудного поля без указания точного месторождения. Наиболее ранним является минерал,

который, согласно действующей номенклатуре блёклых руд (Biagioni et al., 2020), отвечает по составу теннантиту-(Fe). Он приурочен к доломит-биотитовым гумбеитам, замещает халькопирит и образует ксеноморфные выделения в доломите. В нем установлено повышенное содержание Cu и примеси Te, Hg, Cd. Более поздним является тетраэдрит-(Zn), слагающий ксеноморфные выделения и гнезда до 5 см в жилах среди доломитовых гумбеитов. Установлены три зарождения тетраэдрита-(Zn): более ранний обрастает и замещает пирит и халькопирит и образует сростания с галенитом, более поздний замещает галенит. От первого к третьему зарождению увеличиваются содержания Sb и Zn в тетраэдрите при одновременном снижении концентраций Cu и Fe. При этом в его составе неизменны повышенные содержания Bi (3–5 мас.%), Te (~1%), Cd (~0.5%), а также небольшие количества Ag и Se (Спиридонов и др., 1997).

Указанные особенности во многом присущи и блёклым рудам Бурановского месторождения, изученным нами. Последние слагают стально-серые ксеноморфные зерна до 5 см в кварце, а также сростаются с галенитом, халькопиритом и пиритом и замещают их (рис. 3а, г, е; 4ж, з; 5а). В составе блёклых руд установлены значительные вариации отношений Zn:Fe и Sb:As. На месторождении установлены три минеральных вида – тетраэдрит-(Fe), теннантит-(Fe) и тетраэдрит-(Zn) (табл. 2), причем в некоторых образцах они находятся попарно [тетраэдрит-(Fe)–теннантит-(Fe) и тетраэдрит-(Fe)–тетраэдрит-(Zn)], но ни разу не были встречены все вместе. Особенностью Бурановского месторождения является преимущественно железистая специализация блёклых руд. Если тетраэдрит-(Fe) правомерно отнести к числу главных рудных минералов месторождения, а теннантит-(Fe) – к числу распространенных, то тетраэдрит-(Zn) редок, хотя именно в нем сосредоточена большая часть включений теллуридов и сульфотеллуридов (см. ниже). В некоторых образцах тетраэдрита-(Fe) установлено повышенное содержание Cu, вплоть до появления составов, пограничных с потенциально новым минеральным видом «тетраэдритом-(Cu)»  $Cu_6(Cu_4Cu_2)Sb_4S_{12}$  (табл. 2, ан. 7). Также в составе блёклых руд Бурановского месторождения регулярно фиксируются примеси Cd, Bi и Te, но примеси Ag и Se, установленные предыдущими исследователями (Спиридонов и др., 1997), нами не определены.



**Рис. 3.** Морфология минералов Бурановского месторождения, часть I: а – мелкие включения самородного теллура (Te) в кварце (Qz) в ассоциации с тетраэдритом-(Fe) (Ttr-Fe) и неустановленными продуктами его окисления; б – замещение ковеллином (Cv) айкинита (Aik) с тетраэдритом-(Fe), англезитом (Ang) и бисмутитом (Bit); в – относительно крупный прожилок айкинита в кварце; г – росток берриита (Bry ?), виттихенита (Wtc), гессита (Hes) и халькопирита (Ccp) в тетраэдрите-(Fe) с кристаллами тетрадимита (Ttd); д – кристалл эмплектита (Emp) в кварце; е – удлиненное зерно алтаита (Alt) на контакте тетраэдрита-(Zn) (Ttr-Zn) и халькопирита; ж – росток теллуридов (алтаит, гессит, сylvанит (Syv)) с халькопиритом и кальцитом (Cal) в тетраэдрите-(Zn); з – росток теллуридов (алтаит, волюнскит (Vol), гессит, петцит (Ptz)) в тетраэдрите-(Zn); и – идиоморфный кристалл гессита с мелким включением алтаита в тетраэдрите-(Zn); к – вростики гессита в молибдените (Mol); л – зерна колорадоита (Clr) в тетраэдрите-(Fe) с халькопиритом; м – кристалл кочкарита (Koc) в кварце.

Здесь и на рис. 4, 5 – СЭМ изображения.

**Fig. 3.** Morphology of minerals of the Buranovskoe deposit, part I: а – small native tellurium (Te) inclusions in quartz (Qz) with tetrahedrite-(Fe) (Ttr-Fe) rimmed by unidentified products of its oxidation; б – covellite (Cv) after aikinite (Aik) with tetrahedrite-(Fe), anglesite (Ang) and bismutite (Bit); в – relatively large veinlet of aikinite in quartz; г – aggregate of berryite (Bry) (?), wittichenite (Wtc), hessite (Hes) and chalcopyrite (Ccp) in tetrahedrite-(Fe) with tetradymite (Ttd) crystals; д – emplectite (Emp) crystal in quartz; е – elongated altaite (Alt) grain at the contact with tetrahedrite-(Zn) (Ttr-Zn) and chalcopyrite; ж – aggregate of tellurides (altaite, hessite, sylvanite (Syv)) with chalcopyrite and calcite (Cal) in tetrahedrite-(Zn); з – aggregate of tellurides (altaite, volynskite (Vol), hessite, petzite (Ptz)) in tetrahedrite-(Zn); и – euhedral hessite crystal with small altaite inclusion in tetrahedrite-(Zn); к – hessite inclusions in molybdenite (Mol); л – coloradoite (Clr) grains in tetrahedrite-(Fe) with chalcopyrite; м – kochkarite (Koc) crystal in quartz.

Here and in Figs. 4, 5, BSE images.

Table 2

Chemical composition (wt. %) of sulfosalts of the Buranovskoe deposit

№ п/п	Минерал	Cu	Bi	Pb	Fe	Zn	Ag	Cd	As	Sb	Te	S	Сумма	Эмпирические формулы
1	Айкинит	11.49	34.80	38.01	—	—	—	—	—	—	—	16.40	100.70	$Cu_{1.04}Pb_{1.06}Bi_{0.96}S_{2.94}$
2	Берриит	6.77	46.03	22.55	—	—	7.50	—	—	—	—	16.90	99.75	$Cu_{3.20}Ag_{2.09}Pb_{3.27}Bi_{4.61}S_{15.83}$
3	Виттихенит	38.91	41.86	—	—	—	—	—	—	—	—	19.82	100.59	$Cu_{3.00}Bi_{0.98}S_{3.02}$
4	Ag-виттихенит	23.30	37.15	—	—	—	21.26	—	—	—	—	17.79	99.50	$Cu_{1.98}Ag_{1.06}Bi_{0.96}S_{3.00}$
5	Теннантит-(Fe)	41.40	6.31	—	4.58	0.45	—	—	11.06	8.46	0.69	26.19	99.14	$Cu_{10.29}Fe_{1.30}Zn_{0.11}(As_{2.33}Sb_{1.10}Bi_{0.48}Te_{0.09})_{4.00}S_{12.91}$
6	Тетраэдрит-(Fe)	40.99	2.94	—	4.27	1.02	—	0.64	6.26	18.19	—	25.60	99.91	$Cu_{10.46}Fe_{1.24}Zn_{0.25}Cd_{0.09}(Sb_{2.42}As_{1.35}Bi_{0.23})_{4.00}S_{12.95}$
7	Тетраэдрит-(Fe)	42.76	4.47	—	3.63	0.70	—	—	7.64	15.04	—	25.58	99.82	$Cu_{10.88}Fe_{1.05}Zn_{0.17}(Sb_{2.00}As_{1.65}Bi_{0.35})_{4.00}S_{12.90}$
8	Тетраэдрит-(Zn)	39.15	0.25	—	1.30	4.87	—	0.43	3.32	22.85	0.88	25.13	98.18	$Cu_{10.26}Zn_{1.24}Fe_{0.39}Cd_{0.06}(Sb_{3.13}As_{0.74}Te_{0.11}Bi_{0.02})_{4.00}S_{13.05}$
9	Эмплектит	16.39	63.96	—	0.57	—	—	—	—	—	—	19.77	100.69	$Cu_{0.87}Fe_{0.03}Bi_{1.03}S_{2.07}$

*Примечание.* Здесь и далее в таблицах, прочерк – содержание компонента ниже предела обнаружения. Формулы минералов рассчитаны на сумму атомов, равную четырем (эмплектит), шести (айкинит), семи (виттихенит) и тридцати одному (берриит). Блёклые руды (анализы 5–8) рассчитаны на As+Sb+Te+Bi = 4 а.ф.

*Note.* Here and in other tables, dash – the content of element is below detection limit. Empirical formulae are recalculated to the atom sum of four (emplectite), six (aikinite), seven (wittichenite) and 31 (berryite). Fahlores (an. 5–8) are recalculated to As+Sb+Te+Bi = 4 apfu.

*Виттихенит* идентифицирован в виде мелких (до 30 мкм) включений в блёклых рудах и сростков с халькопиритом и теллуридами (рис. 3г). Помимо близкого к идеальному составу виттихенита (табл. 2, ан. 3) встречена и его обогащенная серебром разновидность (табл. 2, ан. 4). Ag-содержащий виттихенит образует ксеноморфные зерна до 20 мкм на контакте тетрадимита с тетраэдритом-(Fe) и калиевым полевым шпатом. Отражательная способность виттихенита умеренная. Он выглядит чуть светлее вмещающей блёклой руды, но хорошо отличается от нее слабой анизотропией с плеохроизмом в коричневатых тонах.

*Эмплектит* слагает игольчатые кристаллы длиной до 0.5 мм в кварцевом прожилке (3д) и ассоциирует с айкинитом и тетраэдритом-(Fe). Минерал идентифицирован по химическому составу (табл. 2).

### Теллуриды и сульфотеллуриды

Блёклые руды содержат многочисленные включения теллуридов и сульфотеллуридов. По данным химического состава и оптическим свойствам нами на месторождении установлено одиннадцать теллуридов (алтаит, волинскит, гессит, колорадоит, кочкарит, мелонит, петцит, раклиджит, сильванит, теллуровисмутит и, предположительно, штютцит) и три сульфотеллурида (сaddleбакит, тетрадимит, хитачиит). Наиболее широко распространены на месторождении три из них – гессит, теллуровисмутит и тетрадимит. Алтаит и мелонит распространены локально, все остальные относятся к числу редких или очень редких. Химический состав теллуридов и сульфотеллуридов приведен в табл. 3.

*Алтаит* слагает удлинённые зерна до 0.1 мм и сложные сростки до 0.2 мм с другими теллуридами – волинскитом, гесситом, петцитом, сильванитом и др. – в тетраэдрите-(Zn) или на контакте последнего с халькопиритом и жильными минералами (кварц, кальцит) (рис. 3е–з; 4д, ж). Алтаит также диагностирован в виде мелких (не более 10 мкм) включений в гессите (рис. 3и). Под рудным микроскопом алтаит надежно диагностируется по отражательной способности, самой высокой из ассоциирующих с ним минералов, и изотропности.

*Волинскит* образует мелкие (до 20 мкм) удлинённые включения в алтаите (рис. 3з) и теллуровисмутите (рис. 4г), а также пластинчатые зерна аналогичного размера на контакте тетраэдрита-(Fe) и халькопирита. В отраженном свете волинскит

Таблица 3

Химический состав (мас. %) теллуридов и сульфотеллуридов Бурановского месторождения

Table 3

Chemical composition (wt. %) of tellurides and sulfotellurides of the Buranovskoe deposit

№ п/п	Минерал	Te	Pb	Ag	Bi	Au	Hg	Ni	S	Сумма	Эмпирические формулы
1	Алтаит	37.44	61.95	–	–	–	–	–	–	99.39	Pb <sub>1.01</sub> Te <sub>0.99</sub>
2	Вольнскит	44.70	–	19.54	36.63	–	–	–	–	100.87	Ag <sub>1.03</sub> Bi <sub>0.99</sub> Te <sub>1.98</sub>
3	Гессит	36.75	–	62.91	–	–	–	–	–	99.66	Ag <sub>2.01</sub> Te <sub>0.99</sub>
4	Колорадоит	38.69	–	–	–	–	61.10	–	–	99.79	Hg <sub>1.00</sub> Te <sub>1.00</sub>
5	Кочкарит	45.56	10.60	0.89	42.55	–	–	–	–	99.60	Ag <sub>0.16</sub> Pb <sub>0.99</sub> Bi <sub>3.94</sub> Te <sub>6.91</sub>
6	Мелонит	80.75	–	–	–	–	–	19.15	–	99.90	Ni <sub>1.02</sub> Te <sub>1.98</sub>
7	Петцит	32.98	–	42.38	–	24.97	–	–	–	100.33	Ag <sub>3.03</sub> Au <sub>0.98</sub> Te <sub>1.99</sub>
8	Раклиджит	44.10	17.63	0.88	37.25	–	–	–	–	99.86	Ag <sub>0.09</sub> Pb <sub>0.97</sub> Bi <sub>2.02</sub> Te <sub>3.92</sub>
9	Саддлебакит	21.54	34.77	–	35.20	–	–	–	8.19	99.70	Pb <sub>1.99</sub> Bi <sub>1.99</sub> Te <sub>2.00</sub> S <sub>3.02</sub>
10	Сильванит	62.58	–	13.02	–	24.09	–	–	–	99.69	Ag <sub>0.99</sub> Au <sub>1.00</sub> Te <sub>4.01</sub>
11	Теллуrowисмутит	47.54	–	–	52.26	–	–	–	–	99.80	Bi <sub>2.01</sub> Te <sub>2.99</sub>
12	Тетрадимит	36.20	59.98	–	–	–	–	–	4.40	100.58	Bi <sub>2.03</sub> Te <sub>2.00</sub> S <sub>0.97</sub>
13	Хитачиит	13.09	54.55	–	21.85	–	–	–	10.10	99.59	Pb <sub>5.03</sub> Bi <sub>2.00</sub> Te <sub>1.96</sub> S <sub>6.02</sub>
14	Штютцит	42.47	–	55.73	–	–	0.61	–	–	99.30	Ag <sub>4.65</sub> Cu <sub>0.07</sub> Hg <sub>0.03</sub> Te <sub>3.00</sub>

Примечание. Анализ 14 включает 0.49 мас. % Cu. Формулы минералов рассчитаны на сумму атомов, равную двум (алтаит, колорадоит), трем (гессит, мелонит), четырем (вольнскит), пяти (теллуrowисмутит, тетрадимит), шести (петцит, сильванит), семи (раклиджит), девяти (саддлебакит), 12 (кочкарит) и 15 (хитачиит). Формула штютцита рассчитана на три атома Te.

Note. Analysis 14 includes 0.49 wt. % Cu. Empirical formulae are recalculated to the atom sum of two (altaite, coloradoite), three (hessite, melonite), four (volynskite), five (tellurobismuthite, tetradymite), six (petzite, sylvanite), seven (rucklidgeite), nine (saddlebackite), 12 (kochkarite) and 15 (hitachiite). The formula of stützite is recalculated to three Te atoms.

имеет характерный розоватый цвет; он существенно темнее вмещающих алтаита и теллуrowисмутита, но гораздо ярче блёклой руды.

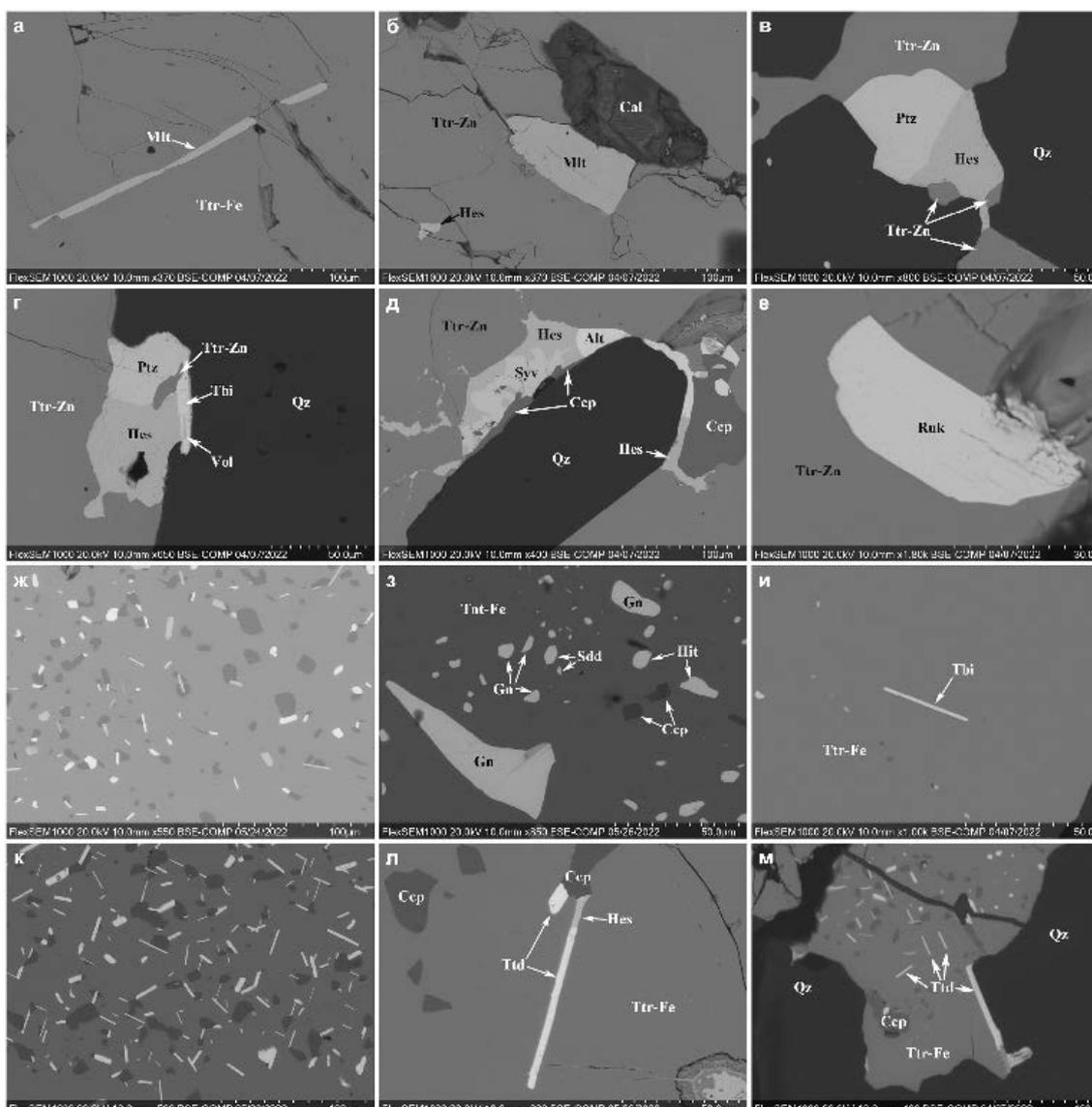
*Гессит* встречается нами в виде вростков изометричной и неправильной формы до 0.1 мм в блёклых рудах (тетраэдрит-(Zn), тетраэдрит-(Fe)) (рис. 3и; 4б) и молибдените (рис. 3к), а также сростков с другими теллуридами, сульфидами (галенит, халькопирит) и сульфосолями (берриит, виттихенит) (рис. 3г, ж; 4в–д, л). Оптически гессит хорошо отличается от соседствующих с ним рудных минералов по цветным эффектам двуотражения (коричневатый в светлом положении и сиреневатый в темном) и анизотропии (коричневатые и сине-фиолетовые тона).

*Колорадоит* обнаружен в единственном образце в виде изометричных зерен до 15 мкм в тетраэдрите-(Fe), халькопирите и кварце (рис. 3л), а также вростков размером 5 мкм в гессите. Одно из зерен колорадоита частично замещено теллуридом или парателлуридом. Химический состав минерала стехиометричен.

*Кочкарит*, как и колорадоит, встречается в одном образце, где он образует вытянутые индивиды до 30 × 10 мкм в кварце (рис. 3м) и ассоциирует

с галенитом, тетраэдритом-(Fe), халькопиритом и другими теллуридами: алтаитом, гесситом, раклиджитом, теллуrowисмутитом. Как и в кочкарите из места его первой находки – Кочкарского золоторудного месторождения на Южном Урале (Спиридонов и др., 1989), бурановский минерал содержит небольшую примесь Ag, но, в отличие от первого, не содержит Sb и Se. Оптические характеристики изученного нами минерала и кочкарита из Кочкарского месторождения очень близки: в отраженном свете он белый со слабым розоватым оттенком, в скрещенных николях – отчетливо анизотропный, в голубовато-серых тонах.

*Мелонит* отличается крупными размерами выделений по сравнению с другими теллуридами и сульфотеллуридами месторождения. Его пластинчатые кристаллы достигают 0.3 мм. Он обнаружен в виде включений в блёклых рудах (тетраэдрит-(Zn), тетраэдрит-(Fe)) и на контакте последних с халькопиритом (рис. 4а, б, ж). Мелонит ассоциирует с другими теллуридами (алтаитом, вольнскитом, раклиджитом, теллуrowисмутитом), но сростков с ними не образует. В одном из изученных образцов краевые части пластинок мелонита, видимо, окислены и корродированы оксидом Te. В отраженном



**Рис. 4.** Морфология минералов Бурановского месторождения, часть II: а – кристалл мелонита (Mlt) в тетраэдрите-(Fe); б – кристалл мелонита в тетраэдрите-(Zn) с гесситом и кальцитом; в – сросток петцита и гессита на контакте тетраэдрита-(Zn) и кварца; г – сросток теллуридов (петцит, гессит, теллуробисмутит (Tbi), волинскит) на контакте тетраэдрита-(Zn) и кварца; д – сросток теллуридов (сильванит, алтаит, гессит) на контакте тетраэдрита-(Zn), халькопирита и кварца; е – кристалл раклиджита (Ruk) в тетраэдрите-(Zn); ж – поперечные сечения пластинчатых кристаллов раклиджита (белый) и мелонита (светло-серый) и изометричные кристаллы алтаита (белый) в тетраэдрите-(Zn) (серая матрица) с халькопиритом (темно-серый); з – зерна саддлебакита (Sdd) и хитачиита (Hit) в теннантите-(Fe) с галени- том (Gn) и халькопиритом; и – кристалл теллуробисмутита в тетраэдрите-(Fe); к – поперечные сечения пластинчатых кристаллов тетрадимита (белый) в теннантите-(Fe) (светло-серый) с халькопиритом (темно-серый); л – кристаллы тетрадимита в сростках с гесситом в тетраэдрите-(Fe) с халькопиритом; м – кристаллы тетрадимита в тетраэдрите-(Fe) с халькопиритом и кварцем.

**Fig. 4.** Morphology of minerals of the Buranovskoe deposit, part II: а – melonite (Mlt) crystal in tetrahedrite-(Fe); б – melonite crystal in tetrahedrite-(Zn) with hessite and calcite; в – aggregate of petzite and hessite at the contact with tetrahedrite-(Zn) and quartz; г – aggregate of tellurides (petzite, hessite, tellurobismuthite (Tbi), volynskite) at the contact with tetrahedrite-(Zn) and quartz; д – aggregate of tellurides (sylvanite, altaite, hessite) at the contact with tetrahedrite-(Zn), chalcopyrite and quartz; е – rucklidgeite (Ruk) crystal in tetrahedrite-(Zn); ж – cross-sections of lamellar crystals of rucklidgeite (white) and melonite (light gray) and isometric altaite crystals (white) in tetrahedrite-(Zn) (gray matrix) with chalcopyrite (dark gray); з – saddlebackite (Sdd) and hitachiite (Hit) grains in tennantite-(Fe) with galena (Gn) and chalcopyrite; и – tellurobismuthite crystal in tetrahedrite-(Fe); к – cross-sections of lamellar tetradymite crystals (white) in tennantite-(Fe) (light gray) with chalcopyrite (dark gray); л – tetradymite crystals intergrown with hessite in tetrahedrite-(Fe) with chalcopyrite; м – tetradymite crystals in tetrahedrite-(Fe) with chalcopyrite and quartz.

свете мелонит имеет белый цвет с характерным розоватым оттенком, он ярче халькопирита и существенно ярче вмещающей блёклой руды. В скрещенных николях мелонит сильно анизотропен с яркими цветными эффектами в зеленоватых и светло-серых тонах.

*Петцит* и *сильванит* установлены в виде мономинеральных зерен в составе сложных сростков с другими теллуридами на контакте тетраэдрита-(Zn) и кварца в ассоциации с халькопиритом (рис. 3ж, з; 4в–д). Сростки этих двух Ag-Au-теллуридов друг с другом не обнаружены. Размер индивидов сильванита не превышает 100 мкм, петцита – 50 мкм. В отраженном свете оптические свойства минералов существенно отличаются. Петцит имеет умеренную отражательную способность, близкую к гесситу, но хорошо отличим от последнего благодаря изотропности. На контакте с алтаитом петцит выглядит отчетливо серым, однако он слегка светлее вмещающей блёклой руды. Сильванит, напротив, имеет высокую отражательную способность, на контакте с гесситом и вмещающей блёклой рудой выглядит ярко-белым со слабым розоватым оттенком, однако слегка темнее алтаита. Сильванит уверенно диагностируется по характерному полисинтетическому двойникованию и сильному двуотражению.

*Раклиджит* образует пластинчатые кристаллы с длиной в сечении до 50 мкм и сростки с гесситом до 100 мкм в тетраэдрите-(Zn) (рис. 4е, ж) и ассоциирует с халькопиритом и другими теллуридами. Аналогично раклиджиту из мест его первых находок золоторудных месторождений – Кочкарского на Южном Урале и Зод в Армении (Завьялов, Бегизов, 1977) в составе раклиджита из Бурановского месторождения фиксируется небольшая примесь Ag. Отражательная способность раклиджита весьма высокая, в сростках с гесситом и на фоне вмещающей блёклой руды он выглядит ярко-белым со слабым розоватым оттенком. Также для этого минерала характерны цветные эффекты анизотропии в голубоватых и сероватых тонах, особенно отчетливо видные в иммерсии.

*Саддлебакит* и *хитачиит* найдены в единственном образце в виде мелких включений в теннантите-(Fe) в ассоциации с галенитом, гесситом, теллуrowисмутитом, тетрадимитом и халькопиритом. Размер зерен хитачиита не превышает 20 мкм, саддлебакита – 10 мкм (рис. 4з). Химический состав обоих минералов близок к идеальному. По оптическим свойствам эти минералы очень сходны: серовато-белые в отраженном свете, существенно светлее вмеща-

ющей блёклой руды и примерно одной яркости с галенитом, что соответствует справочным данным об их отражательной способности [(при  $\lambda = 546$  нм  $R = 40.8\text{--}42.1\%$  у саддлебакита (Clarke, 1997),  $38.8\text{--}41.5\%$  у хитачиита (Kuribayashi et al., 2019) и  $44\%$  у галенита (Чвилева и др., 1988)]. От последнего саддлебакит и хитачиит отличаются слабым двуотражением и анизотропией в серых тонах. Находка хитачиита является первой в Российской Федерации и, вероятно, второй в мире после места его первой находки – японского рудника Хитачи на острове Хонсю (Kuribayashi et al., 2019).

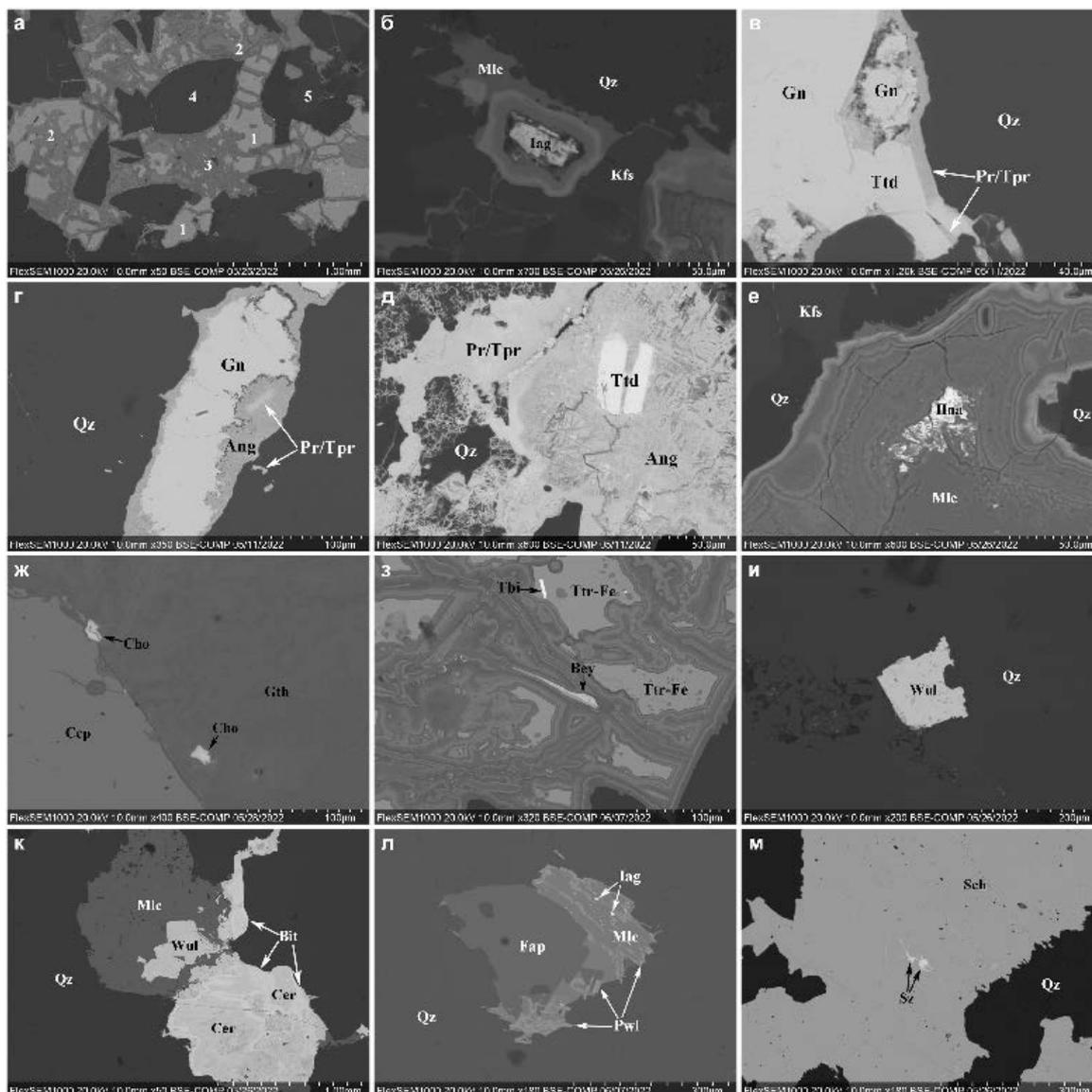
*Теллуrowисмутит* встречен в большинстве изученных образцов. Его пластинчатые индивиды, заключенные в блёклых рудах (тетраэдрит-(Zn), тетраэдрит-(Fe)), не превышают по длине сечения 50 мкм (рис. 4и, 5з). Отмечены его сростки с петцитом и гесситом; в самом теллуrowисмутите фиксируются мелкие вроски вольфскита (рис. 4г). Отражательная способность теллуrowисмутита существенно выше, чем у всех ассоциирующих с ним минералов: на их фоне он выглядит белым с отчетливо розоватым оттенком.

*Тетрадимит* на Бурановском месторождении встречается регулярно. Он образует пластинчатые кристаллы длиной до 0.1 мм в блёклой руде и ассоциирует с халькопиритом, айкинитом, виттихенитом и большинством теллуридов (рис. 3г, 4к–м). В отраженном свете тетрадимит выглядит кремово-белым на фоне вмещающей блёклой руды.

Помимо гессита на месторождении встречен еще один теллурид Ag, образующий в кварце включения не более 7 мкм. Мелкий размер не позволил выполнить какие-либо исследования минерала, кроме определения его химического состава. По величине отношения Ag/Te минерал, предположительно, отнесен к *штютциту*. Помимо стехиометрии, минерал отличается от гессита наличием небольших примесей Cu и Hg.

### Галогениды

Практически все изученные нами первичные рудные минералы в большей или меньшей степени затронуты процессами гипергенного изменения. Особенно это касается блёклых руд и халькопирита, вокруг которых развиваются каймы продуктов окисления (рис. 5а). Установить минеральный состав этих зон чаще всего невозможно, т. к. они образованы тонкими микросрастаниями различных кислородсодержащих фаз. Однако среди продуктов



**Рис. 5.** Морфология минералов Бурановского месторождения, часть III: а – тетраэдрит-(Fe) (1), халькопирит (2) и продукты их окисления (3) в кварце (4) и калиевом полевоом шпате (Kfs) (5); б – агрегат иодаргирита (Iag) в кварц-полевошпатовом прожилке с малахитом (Mlc); в – кайма перита (Pr)/теллуруперита (Tpr) по границе сростка галенита и тетрадимита в кварце; г – включения перита/теллуруперита в кварце и англезите с галенитом; д – прожилок перита/теллуруперита, развивающийся вместе с англезитом по тетрадимиту, в кварце; е – агрегат ханауэрита (Hna) среди продуктов окисления блёклой руды в ассоциации с малахитом в кварц-полевошпатовом прожилке; ж – мелкие зерна чолоалита (Cho) на контакте халькопирита и гётита (Gth); з – прожилок бейерита (Bey) среди неустановленных продуктов замещения тетраэдрита-(Fe) в ассоциации с кристаллом теллуровисмутита; и – таблитчатый кристалл вульфенита (Wul) в кварце; к – сросток таблитчатых кристаллов вульфенита в малахите в ассоциации с бисмутитом (Bit) и церусситом (Cer) в кварцевом прожилке; л – прожилки повеллита (Pwl) и мелкие включения иодаргирита в малахите, обрастающем кристалл фторапатита (Fap) в кварце; м – прожилки штольцита (Sz) в шеелите (Sch) с кварцем.

**Fig. 5.** Morphology of minerals of the Buranovskoe deposit, part III: а – tetrahedrite-(Fe) (1), chalcopyrite (2) and products of their oxidation (3) in quartz (4) and K-feldspar (Kfs) (5); б – iodargyrite (Iag) aggregate in quartz-feldspar veinlet with malachite (Mlc); в – perite (Pr)/telluroperite (Tpr) rim around galena and tetradymite aggregate in quartz; г – perite/telluroperite inclusions in quartz and anglesite with galena; д – perite/telluroperite veinlet with anglesite replacing tetradymite in quartz; е – hanauerite (Hna) aggregate between oxidation products of fahlore with malachite in quartz-feldspar veinlet; ж – small choloalite (Cho) grains at the contact with chalcopyrite and goethite (Gth); з – beyerite (Bey) veinlet among other unidentified phases replacing tetrahedrite-(Fe) in assemblage with tellurobismuthite crystal; и – tabular wulfenite (Wul) crystal in quartz; к – cluster of tabular wulfenite crystals in malachite with bismutite (Bit) and cerussite (Cer) in quartz veinlet; л – powellite (Pwl) veinlets and small iodargyrite inclusions in malachite overgrowing fluorapatite (Fap) crystal in quartz matrix; м – stolzite (Sz) veinlets in scheelite (Sch) with quartz.

окисления первичных минералов нами встречены и мономинеральные выделения. Среди галогенидов нами установлены иодаргирит, два оксихлорида – перит и теллуруперит и, предположительно, сульфид-йодид Ag и Hg ханауэрит.

*Иодаргирит* слагает индивиды до 50 мкм в кварц-полевошпат-шеелитовых прожилках, развивающиеся по блёклой руде и халькопириту, а также мелкие включения в малахите в ассоциации с азури-том, вульфенитом, малахитом, повеллитом, церусситом, ханауэритом, а также простыми сульфидами и теллуридами (рис. 5б, л). В одном из образцов иодаргирит образует частичную псевдоморфозу по сростку Ag-содержащих теллуридов размером 20 мкм (петцит, гессит). Химический состав минерала стехиометричен (мас. %, среднее значение по десяти анализам): 45.83 Ag, 54.00 I, сумма 99.83; эмпирическая формула (расчет на сумму атомов, равную двум):  $Ag_{1.00}I_{1.00}$ . Несмотря на то, что анизотропия минерала маскируется внутренними рефлексамии бледно-желтого цвета, она все же различима, что дает основание отнести изученный минерал именно к иодаргириту, а не к его кубическому диморфу майерситу.

*Перит* и *теллуруперит*, два оксихлорида из группы надорита, выявлены в одном из образцов в краевых частях некоторых кристаллов тетрадимита, а также, наряду с англезитом и церусситом, в числе продуктов окисления галенита, слагающего крупные зерна в кварце (рис. 5в–д). Максимальный размер выделений этих оксихлоридов – 50 мкм, но, в среднем, гораздо меньше. Оба минерала формируют неоднородные по составу индивиды, каймы и прожилки желтоватого цвета, в которых наблюдаются участки, отвечающие как периту, так и теллурупериту. В этой же ассоциации установлены пирит, теллуровисмутит, тетраэдрит-(Zn), альбит, барит, рутил и фторapatит.

Перит является редким минералом. Впервые он был описан в Лонгбане, Швеция (Gillberg, 1960) и отмечался в Австралии (Bridge, 1976; Pring et al., 2003), Германии (Schnorrer, 1995), Греции (Gelaude et al., 1996), Италии (Cossu et al., 1998; Ciriotti et al., 2010), Норвегии (Husdal, 2019), США (Kampf et al., 2010a, b, 2019; Mills et al., 2014). На постсоветском пространстве перит впервые был установлен среди минералов зоны гипергенеза месторождения Кара-Оба в Центральном Казахстане (Карташов и др., 1993), а в России – в окисленных рудах Захаровского колчеданно-полиметаллического месторождения в Алтайском крае (Зырянова и др., 2015).

Наша находка этого минерала является второй на территории Российской Федерации и первой на Урале. Теллуруперит до последнего времени оставался эндемиком района Отто Маунтин, Калифорния (Kampf et al., 2010b), поэтому наша находка – не только первая в России, но и, скорее всего, вторая в мире.

Структурную формулу минералов группы надорита, включающей перит, теллуруперит и собственно надорит, можно записать как  $Pb_2M_2O_4Cl_2$ . В надорите видообразующая структурная позиция *M* заселена двумя атомами Sb, в перите – двумя атомами Bi, а в теллуруперите она имеет смешанное заселение, включающее в идеальном случае один атом Pb и один атом  $Te^{4+}$ . Суммарный заряд содержимого этой позиции во всех случаях должен быть неизменен:  $6+$ . Эти минералы относятся к структурному типу Силлена  $X_1$ , в котором флюоритоподобные слои  $PbM-O_4-PbM$  чередуются со слоями  $Cl_2$ . Позиции Pb и *M* расположены между слоями атомов O и Cl, образуя несколько различающиеся координационные полиэдры  $PbO_4Cl_4$  и  $MO_4Cl_4$  (Sillén, Melander, 1941; Ketterer, Krämer, 1985; Kampf et al., 2010b).

Несмотря на изоструктурность минералов группы надорита, твердые растворы между ними до настоящего времени не отмечались. В опубликованных анализах перита нет примеси Te выше следовых значений (Gillberg, 1960; Bridge, 1976; Карташов и др., 1993; Ciriotti et al., 2010; Зырянова и др., 2015), равно как и в составе теллуруперита отсутствует Bi (Kampf et al., 2010b). Такой ряд твердых растворов впервые для этих минералов установлен нами на Бурановском месторождении. Он простирается от перита с формулой  $Pb_{2.02}Bi_{1.06}Te^{4+}_{0.62}O_{3.70}Cl_{2.30}$  до теллуруперита состава  $Pb_{2.20}Te^{4+}_{0.84}Bi_{0.70}O_{3.86}Cl_{2.14}$  (табл. 4; рис. 6, 7). Таким образом, теллуруперит Бурановского месторождения представлен богатой висмутом разновидностью, а перит – высокотеллуристой. Отметим, что при расчете эмпирических формул минералов на 6 анионов O + Cl сумма катионов в перите и теллуруперите варьирует в диапазоне 3.70–3.98 а.ф. (табл. 4). Это в целом согласуется с литературными данными. Если в перите из Лонгбана и Кара-Обы сумма Pb и Bi близка к идеальному значению 4 а.ф. (Gillberg, 1960; Карташов и др., 1993), то в перите из Захаровского месторождения фиксируется их существенный дефицит. Пересчитанная формула из работы (Зырянова и др., 2015) на шесть анионов имеет следующий вид:  $Pb_{1.86}Bi_{1.75}O_{4.05}Cl_{1.88}Br_{0.07}$ .

Таблица 4

## Химический состав (мас. %) минералов ряда перит-теллулоперит Бурановского месторождения

Table 4

## Chemical composition (wt. %) of minerals of the perite-telluroperite series of the Buranovskoe deposit

№ п/п	Минерал	PbO	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TeO <sub>2</sub>	Cl	O=Cl	Сумма	Эмпирические формулы
1	Перит	51.78	28.47	11.36	9.35	-2.11	98.85	Pb <sub>2.02</sub> Bi <sub>1.06</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.62</sub> O <sub>3.70</sub> Cl <sub>2.30</sub>
2		52.78	27.57	11.77	9.45	-2.14	99.43	Pb <sub>2.04</sub> Bi <sub>1.02</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.64</sub> O <sub>3.70</sub> Cl <sub>2.30</sub>
3		55.01	23.71	14.06	9.32	-2.11	100.02	Pb <sub>2.09</sub> Bi <sub>0.86</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.75</sub> O <sub>3.76</sub> Cl <sub>2.24</sub>
4		56.76	22.07	13.53	8.80	-1.99	99.17	Pb <sub>2.21</sub> Bi <sub>0.82</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.74</sub> O <sub>3.84</sub> Cl <sub>2.16</sub>
5		59.01	20.85	11.79	8.91	-2.01	98.55	Pb <sub>2.36</sub> Bi <sub>0.80</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.66</sub> O <sub>3.76</sub> Cl <sub>2.24</sub>
6		55.45	21.29	14.14	9.37	-2.12	98.13	Pb <sub>2.15</sub> Bi <sub>0.79</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.77</sub> O <sub>3.72</sub> Cl <sub>2.28</sub>
7		60.50	19.65	12.40	8.06	-1.82	98.79	Pb <sub>2.44</sub> Bi <sub>0.76</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.70</sub> O <sub>3.95</sub> Cl <sub>2.05</sub>
8	Теллулоперит	62.84	17.27	12.13	7.74	-1.75	98.23	Pb <sub>2.58</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.70</sub> Bi <sub>0.68</sub> O <sub>4.00</sub> Cl <sub>2.00</sub>
9		66.91	12.28	13.12	7.89	-1.78	98.42	Pb <sub>2.75</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.75</sub> Bi <sub>0.48</sub> O <sub>3.96</sub> Cl <sub>2.04</sub>
10		62.87	16.37	13.61	7.45	-1.68	98.62	Pb <sub>2.55</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.77</sub> Bi <sub>0.64</sub> O <sub>4.10</sub> Cl <sub>1.90</sub>
11		62.35	18.05	14.11	7.53	-1.70	100.34	Pb <sub>2.47</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.78</sub> Bi <sub>0.69</sub> O <sub>4.12</sub> Cl <sub>1.88</sub>
12		55.79	21.10	14.78	9.33	-2.11	98.89	Pb <sub>2.14</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.79</sub> Bi <sub>0.77</sub> O <sub>3.75</sub> Cl <sub>2.25</sub>
13		56.59	20.58	15.25	9.26	-2.09	99.59	Pb <sub>2.15</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.81</sub> Bi <sub>0.75</sub> O <sub>3.78</sub> Cl <sub>2.22</sub>
14		57.45	19.21	15.75	8.88	-2.01	99.28	Pb <sub>2.20</sub> Te <sup>4+</sup> <sub>0.84</sub> Bi <sub>0.70</sub> O <sub>3.86</sub> Cl <sub>2.14</sub>

Примечание. Формулы минералов рассчитаны на сумму анионов, равную шести, и расположены по степени убывания висмутового (в перите) и возрастания теллурического (в теллулоперите) компонентов.

Note. Empirical formulas are recalculated to the anion sum of six and are arranged according to the degree of decrease in Bi (in perite) and increase in Te (in telluroperite) components.

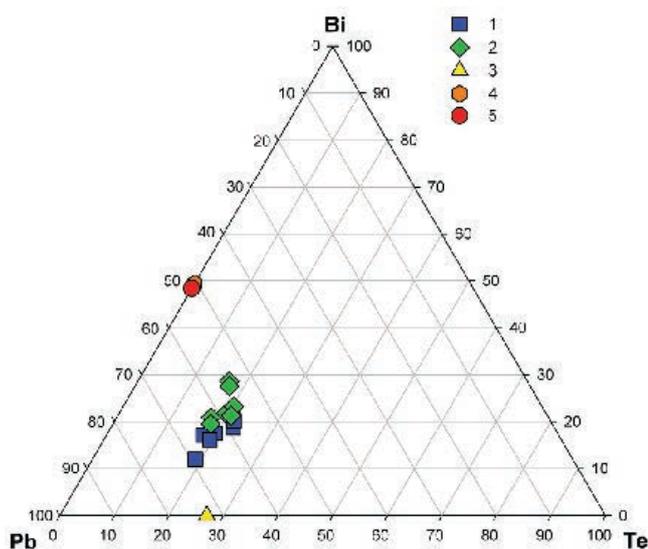


Рис. 6. Соотношение катионов в перите и теллулоперите.

1 – теллулоперит, Бурановское месторождение (семь анализов); 2 – перит, Бурановское месторождение (семь анализов); 3 – голотип теллулоперита, Отто Маунтин, США (Kampf et al., 2010b); 4 – голотип перита, Лонгбан, Швеция (Gillberg, 1960); 5 – перит, Захаровское месторождение, Россия (Зырянова и др., 2015).

Fig. 6. Cation ratio in perite and telluroperite.

1 – telluroperite, Buranovskoe deposit (seven analyses); 2 – perite, Buranovskoe deposit (seven analyses); 3 – telluroperite holotype, Otto Mountain, USA (Kampf et al., 2010b); 4 – perite holotype, Långban, Sweden (Gillberg, 1960); 5 – perite, Zakharovskoe deposit, Russia (Zyryanova et al., 2015).

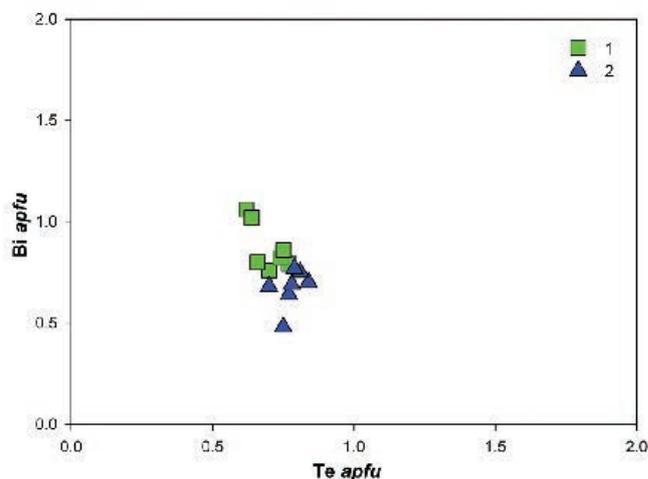


Рис. 7. Соотношение Bi и Te в перите и теллулоперите Бурановского месторождения.

1 – перит (семь анализов); 2 – теллулоперит (семь анализов).

Fig. 7. Bi and Te correlation in perite and telluroperite from Buranovskoe deposit.

1 – perite (seven analyses); 2 – telluroperite (seven analyses).

Представляется, что такой дефицит нельзя объяснить лишь одними погрешностями в измерении кислорода (в сторону завышения), отмеченными авторами статьи. В структурно изученном голотипе теллулоперита из Калифорнии также установлен дефицит катионов – 3.82 а.ф. (Kampf et al., 2010b).

При этом вопрос о том, где именно «прячется» этот дефицит – в крупнокатионной позиции Pb или в смешанной позиции M, авторами не решен. По этой причине отнесение того или иного состава к периту или теллурупериту осуществлялось нами по преобладанию Bi или Te.

*Ханауэрит*, редкий сульфид-иодид Ag и Hg, открытый относительно недавно в зоне окисления рудников Schöne Aussicht и Friedrichsseggen в Рейнланд-Пфальце, Германия (Pečov et al., 2018), предположительно установлен нами и в кварц-полевошпат-шеелитовых прожилках Бурановского месторождения. Он образует редкие агрегаты до  $50 \times 20$  мкм, развивающиеся среди малахита и не установленных продуктов окисления тетраэдрита-(Fe) и теннантита-(Fe) (рис. 5е) и ассоциирует с азуритом, бейеритом, бисмутитом, иодаргиритом, повеллитом, церусситом, штольцитом и простыми сульфидами. Цвет минерала черный, что соответствует ханауэриту из мест первых находок (оригинальный цвет ханауэрита желтый, но в силу светочувствительности минерал быстро темнеет на воздухе, становясь практически черным – устное сообщение И.В. Пекова). Химический состав минерала из Бурановского месторождения хорошо рассчитывается на ханауэрит (мас. %): 23.73 Ag, 41.86 Hg, 7.31 S, 28.02 I, сумма 100.92; эмпирическая формула (расчет на сумму атомов, равную четырём):  $Ag_{1.00}Hg_{0.95}S_{1.04}I_{1.01}$ .

В отличие от немецкого ханауэрита, содержащего существенную примесь Br (устное сообщение И.В. Пекова), в уральском минерале элементов-примесей нет. Опубликованных данных о находках ханауэрита в Российской Федерации до настоящего времени не было. Вместе с тем, первым автором настоящей статьи этот минерал был недавно установлен электронно-зондовым и рентгенографическим методами в зоне окисления рудных тел, разрабатывавшихся Крестовоздвиженским рудником в Пластовском районе Южного Урала, где он слагает вроски до 50 мкм в хризоколле и карбонатах (кальцит, доломит) и ассоциирует с блеклой рудой (теннантит-(Fe), теннантит-(Zn), тетраэдрит-(Fe) и «тетраэдрит-(Cu)»), галенитом и замещающими их гипергенными минералами (азурит, цинколиверит, сегнитит, оксикальциоромеит).

### **Оксиды, гидроксиды, теллуриды**

*Гетит* является основным рудным компонентом зоны окисления. Он слагает бурые корки,

сплошные тонкозернистые массы, выполняет трещины в кварц-полевошпат-шеелитовых прожилках, образует псевдоморфозы по пириту и халькопириту (рис. 5ж).

*Гидрокеноэлсмореит* под названием «ферритунгстит» описан в зоне окисления шеелитоносных жил Бурановского месторождения в виде землистых охр желто-бурого цвета (Рубель, Апполов, 1937). Этот редкий минерал установлен методом мокрой химии только в одном из 37 изученных образцов землистых охр. В 2010 г. в результате принятия действующей номенклатуры надгруппы пирохлора ферритунгстит был дискредитирован и объявлен железной разновидностью гидрокеноэлсмореита (Atencio et al., 2010).

*Колумбит* среди прочих минералов шеелитоносных жил месторождения упомянут И.С. Степановым (1933а). Химический состав его не изучался, а нами этот минерал не встречен.

*Магнетит* диагностирован нами при изучении фрагмента эпидотизированной породы, относящейся к северному экзоконтакту Бурановского массива и не связанной с кварц-шеелитовыми жилами. Минерал образует изометричные кристаллы и зерна до 1 мм в породообразующих альбите и эпидоте, а также на контакте последнего с кальцитом, титанитом и клинохлором. В подчиненном количестве присутствуют диопсид, кварц, калиевый полевой шпат, магнезиоферригорнблендит и фторпатит, в аксессуарном – циркон. В химическом составе магнетита установлена малая примесь хрома (до 0.5 мас. %  $Cr_2O_3$ ).

*Молибдит* указан среди минералов зоны окисления месторождения (Степанов, 1933б). Не исключено, что под «молибдитом» в то время подразумевался ферримолибдит.

*Оксид Те* корродирует краевые зоны некоторых пластинчатых кристаллов мелонита и тетрадимита и зерен колорадоита. Отдельные небольшие кристаллы тетрадимита (до  $40 \times 5$  мкм) замещены им полностью. К сожалению, мелкий размер выделений не позволяет провести рентгеновское исследование минерала и достоверно отнести его к теллуриду или парателлуриду.

*Рутил* является аксессуарным минералом кварц-полевошпат-шеелитовых жил. Его W-содержащая разновидность подробно описана в работах (Середкин, Кононкова, 1997; Спиридонов и др., 1997). Нами во многих образцах встречен W, V, Cr-содержащий рутил в виде призматических кристаллов до 0.1 мм в кварце и калиевом полевошпате.

*Чолоалит*, редкий Pb-Cu-теллурид, определен нами по химическому составу. Он находится в виде зерен до 20 мкм на контакте гетита и халькопирита (рис. 5ж) в ассоциации с блеклыми рудами, теллуридами (алтаит, гессит, колорадоит), азуритом, вольфенитом, иодаргиритом, малахитом. Химический состав чолоалита (мас. %): CuO 12.88, PbO 35.63, TeO<sub>2</sub> 50.69, Cl 1.30, -O = Cl 0.29, сумма 100.21. Он отвечает эмпирической формуле (расчет на шесть анионов): Pb<sub>0.98</sub>Cu<sub>1.00</sub>Te<sup>4+</sup><sub>1.95</sub>O<sub>5.76</sub>Cl<sub>0.24</sub>. В Российской Федерации чолоалит ранее был диагностирован в зоне окисления золоторудного месторождения Агинское на Камчатке (Касаткин, 2019). Наша бурановская находка – вторая в России и первая на Урале.

### Карбонаты

*Азури́т*, *малахит* и *церуссит* являются обычными гипергенными минералами месторождения. Они образуют тонкие корочки, примазки, налеты до нескольких сантиметров в поперечнике на кварце, калиевом полевом шпате и гипогенных карбонатах, замещают халькопирит, блеклые руды, айкинит и галенит.

*Бейерит* очень редок: он установлен всего в одном образце. Этот Ca-Vi карбонат наряду с неустановленными фазами замещает тетраэдрит-(Fe) в кварц-полешпат-шеелитовой породе, образуя прожилки размером до 0.1 × 0.01 мм (рис. 5з) и ассоциирует с теллуровисмутитом, вольфенитом, иодаргиритом, малахитом и церусситом. В химическом составе бейерита диагностированы Ca и Vi в приблизительном отношении 1:2, а также C и O.

*Бисмутит*, еще один карбонат Vi, в виде агрегатов до 0.1 мм развивается по айкиниту вместе с англезитом и ковеллином (рис. 3б), а также слагает прожилки длиной до 1 мм в кварце вместе с малахитом, церусситом и вольфенитом (рис. 5к). В составе бисмутита зафиксированы только Vi, C и O.

*Анкерит*, *сидерит* и *стронцианит* указаны в перечне минералов рудоносных жил месторождения (Степанов, 1933а).

### Сульфаты

*Англезит* – распространенный минерал зоны окисления, развивающийся по галениту и айкиниту в виде бесцветных корочек до 0.5 см (рис. 3б; 5г, д). В некоторых образцах минерал представлен Sr-содержащей разновидностью (до 10.1 мас. % SrO).

*Барит* постоянно встречается в кварц-полевошпат-шеелитовых жилах в малом количе-

стве. Размер его кристаллов и агрегатов в обычно не превышает 0.1 мм. Помимо беспримесного барита нами обнаружены зональные кристаллы, обогащенные Sr (до 17.7 мас. % SrO), вплоть до появления участков Ba-содержащего *целестина*. Целестин с максимальным содержанием Sr имеет состав (мас. %): SrO 66.60, BaO 33.30, сумма 99.90, отвечающий формуле (расчет на четыре атома O): (Sr<sub>0.75</sub>Ba<sub>0.25</sub>)SO<sub>4</sub>.

### Вольфраматы, молибдаты

*Вольфенит* на месторождении под названием «молибдат свинца» впервые отмечен К.К. Матвеевым (1928). Он встречается практически во всех изученных нами образцах в виде хорошо оформленных таблитчатых кристаллов в халькопирите, блеклых рудах, малахите, кварце и других минералах. Средний размер кристаллов вольфенита около 0.1 мм, но его отдельные индивиды достигают 0.3 мм (рис. 5и, к). Некоторые кристаллы вольфенита химически чистые (табл. 5, ан. 1), однако их большая часть содержит примеси. Кальций и Sr замещают Pb (табл. 5, ан. 2, 3, 7), а W – Mo (табл. 5, ан. 4, 5). В одном из образцов нами встречены зерна вольфенита до 20 мкм с необычной примесью TeO<sub>3</sub> до 2.15 мас. % (табл. 5, ан. 5–7). Возможность того, что эта примесь вызвана микроворостками Te-содержащей фазы, не исключена, однако гомогенность зерен скорее свидетельствуют об изоморфном замещении Te малой части Mo.

*Купротунгстит* под старым названием «купрошеелит» отмечен в качестве редкого вторичного минерала Бурановского месторождения (Рубель, Апполов, 1937).

*Повеллит* встречается крайне редко в кварц-полевошпат-шеелитовых жилах, образуя нитевидные агрегаты длиной до 0.15 мм и прожилки в малахите в ассоциации с вольфенитом, иодаргиритом, простыми сульфидами (галенит, молибденит, халькопирит) и тетраэдритом-(Fe) (рис. 5л). В химическом составе минерала фиксируются незначительные примеси Pb, W и As (табл. 5).

*Шеелит* – главный рудный минерал Бурановского месторождения. Его количество в кварцевых жилах составляет от первых процентов до 20–30 % объема жильной массы (Белов, Фролов, 1984; Золотов и др., 2004). Бурановский шеелит подробно изучен в работах (Смолин, 1929; Середкин, 1996, 2000; Середкин, Кононкова, 1997; Спиридонов и др., 1997). Описано четыре типа кварцевых жил, к

Таблица 5

Химический состав (мас. %) вольфраматов и молибдатов Бурановского месторождения

Table 5

Chemical composition (wt. %) of tungstates and molybdates of the Buranovskoe deposit

№ п/п	Минерал	PbO	MoO <sub>3</sub>	CaO	TeO <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирические формулы
1	Вульфенит	61.34	38.46	–	–	–	99.80	Pb <sub>1.02</sub> (Mo <sub>0.99</sub> O <sub>4</sub> )
2		55.43	41.91	2.65	–	–	99.99	(Pb <sub>0.85</sub> Ca <sub>0.16</sub> ) <sub>Σ1.01</sub> (MoO <sub>4</sub> )
3		56.87	39.60	1.23	–	–	99.01	(Pb <sub>0.91</sub> Ca <sub>0.08</sub> St <sub>0.05</sub> ) <sub>Σ1.04</sub> (Mo <sub>0.99</sub> O <sub>4</sub> )
4		59.97	38.95	–	–	1.39	100.31	Pb <sub>0.98</sub> [(Mo <sub>0.99</sub> W <sub>0.02</sub> ) <sub>Σ1.01</sub> O <sub>4</sub> ]
5		62.13	36.91	–	0.68	0.58	100.30	Pb <sub>1.04</sub> [(Mo <sub>0.96</sub> Te <sup>6+</sup> <sub>0.01</sub> W <sub>0.01</sub> ) <sub>Σ0.98</sub> O <sub>4</sub> ]
6		60.92	36.79	–	2.15	–	99.86	Pb <sub>1.015</sub> [(Mo <sub>0.95</sub> Te <sup>6+</sup> <sub>0.045</sub> ) <sub>Σ0.995</sub> O <sub>4</sub> ]
7		60.25	37.84	0.66	0.90	–	99.65	(Pb <sub>0.99</sub> Ca <sub>0.04</sub> ) <sub>Σ1.03</sub> [(Mo <sub>0.97</sub> Te <sup>6+</sup> <sub>0.02</sub> ) <sub>Σ0.99</sub> O <sub>4</sub> ]
8	Повеллит	1.47	69.12	27.70	–	1.45	100.70	(Ca <sub>1.00</sub> Pb <sub>0.01</sub> ) <sub>Σ1.01</sub> [(Mo <sub>0.97</sub> As <sub>0.02</sub> W <sub>0.01</sub> ) <sub>Σ1.00</sub> O <sub>4</sub> ]
9		3.57	67.29	26.05	–	2.61	99.52	(Ca <sub>0.97</sub> Pb <sub>0.03</sub> ) <sub>Σ1.00</sub> [(Mo <sub>0.98</sub> W <sub>0.02</sub> ) <sub>Σ1.00</sub> O <sub>4</sub> ]
10	Штольцит	48.70	–	–	–	55.75	99.45	Pb <sub>1.00</sub> (WO <sub>4</sub> )
11		46.54	–	0.78	–	52.78	100.10	(Pb <sub>0.92</sub> Ca <sub>0.06</sub> ) <sub>Σ0.98</sub> (W <sub>1.01</sub> O <sub>4</sub> )

Примечание. Анализы содержат (мас. %): 1.31 SrO (ан. 3), 0.96 As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ан. 8). Формулы всех минералов рассчитаны на четыре атома O.

Note. Analyses contain (wt. %): 1.31 SrO (an. 3), 0.96 As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (an. 8). Empirical formulas of all minerals are recalculated to four O atoms.

которым приурочены, соответственно, четыре генерации шеелита: 1) крупные зеленовато-желтые кристаллы размером до 3–4 см Мо-содержащего шеелита-I (до 13.4 мас. % MoO<sub>3</sub>) в микроклинкварцевых жилах с доломитом; 2) наиболее распространенные (до 30 % объема жил) желтые идиоморфные кристаллы размером до 2–3 см низкомолибденового шеелита-II (до 2.25 мас. % MoO<sub>3</sub>) в микроклинкварцевых жилах; 3) крупные идиоморфные кристаллы желтого, оранжевого, серого, бурого цветов шеелита-III размером до 4 см, близкого по составу к конечному члену серии повеллит-шеелит, в микроклинкварцевых жилах с сульфидами и сульфосолями (молибденит, теннантит, пирит, галенит) и 4) идиоморфные кристаллы бурого цвета размером до 1–1.5 см такого же по составу шеелита-IV в апатит-адуляр-кварцевых жилах. В отличие от других генераций, шеелит-IV не флюоресцирует в ультрафиолетовых лучах, что необычно для этого минерала.

В изученных нами образцах шеелит слагает идиоморфные кристаллы до 0.5 мм, а также прожилки и гнезда желтовато-кремового цвета до 2 см в сливном белом кварце (рис. 5м). В химическом отношении шеелит беспримесный; в ультрафиолетовых лучах коротковолнового диапазона он обнаруживает характерное для этого минерала голубое свечение.

Штольцит под названием «вольфрамат свинца» впервые на Бурановском месторождении отмечен К.К. Матвеевым (1928). Гониометрические исследования кристаллов гумбейского штольцита, описание их физических и оптических свойств, хи-

мического состава и рентгеновских характеристик осуществлены П.В. Покровским (1961), однако для этого использован материал из Балканского и Трестиатского месторождений. На Бурановском месторождении штольцит развивается по шеелиту, образуя вокруг него тонкие (до 0.20 × 0.01 мм) каймы, часто на контакте с халькопиритом и кварцем, или небольшие прожилки внутри зерен шеелита (рис. 5м). Минерал химически чистый или содержит небольшую примесь Ca (табл. 5).

### Арсенаты

Миметизит – единственный арсенат, встреченный нами на месторождении. Он установлен в составе кайм размером до 0.10 × 0.01 мм, развивающихся вокруг зерен теннантита-(Fe) в кварцшеелитовых прожилках, и ассоциирует с англезитом, галенитом, пиритом и многочисленными теллуридами. В составе миметизита элементы-примеси не зафиксированы.

### Силикаты

Титанит и циркон установлены нами в той же ассоциации, что и магнетит. Широко распространенный титанит образует клиновидные кристаллы и зерна до 1 мм в альбите и эпидоте. Редкий циркон образует мелкие гипидиоморфные включения в эпидоте, не превышающие 25 мкм. Титанит содержит до 1.6 мас. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 0.6 мас. % V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и до 1.3 мас. % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а циркон – до 1.3 мас. % HfO<sub>2</sub>.

### Заключение

Строение и минеральный состав жил Гумбейского рудного поля и последовательность минералообразования в них изучались различными авторами (Степанов, 1933а, б; Фаворский, 1940, 1948; Спиридонов и др., 1997 и др.). С учетом данных И.С. Степанова (1933а), установившего несколько типов парагенетических минеральных ассоциаций в жилах Бурановского месторождения, а также характера сростаний сульфидов, сульфосолей и теллуридов и их взаимоотношений с кислородсодержащими минералами, можно предположить следующую последовательность минералообразования на изучаемом объекте: кварц + калиевый полевошпат → шеелит + рутил + карбонаты (кальцит, доломит) + сульфиды (галенит, молибденит, пирит, халькопирит) → блеклые руды, айкинит и другие сульфосоли + барит → теллуриды → самородные элементы (золото, теллур) → гипергенные минералы. Очевидно, что эта последовательность носит самый общий характер, т. к. многие минералы (кварц, шеелит, рутил, карбонаты, молибденит, пирит и др.) представлены на месторождении сразу несколькими генерациями, сформированными в широком температурном диапазоне (Степанов, 1933а, б; Спиридонов и др., 1997).

Что касается теллуридов, как наиболее интересной группы минералов, установленных нами на месторождении, то тенденция к их формированию преимущественно в конце гидротермального процесса в условиях пониженных температур отмечалась многими исследователями. При этом подчеркивалось, что наиболее высокие концентрации Те, сопровождаемые появлением собственно теллуридной минерализации, возникают при снижении активности S главным образом на поздних стадиях рудообразования. Этим объясняется, с одной стороны, пространственная оторванность теллуридов от большинства сульфидных ассоциаций, и с другой – их обычное сонахождение с блеклыми рудами и другими сульфосолями (Гармаш, Курбатова, 1963; Юшко-Захарова, 1963; Afifi et al., 1988a, b; Моныхов и др., 1998; Cioabanu et al., 2006; Кемкина и др., 2012). Простые по составу теллуриды (алтаит, колорадоит, мелонит, теллуровисмутит, тетрадимит), скорее всего, отложились раньше более сложных Pb-Bi-теллуридов и сульфотеллуридов (кочкарит, раклиджит, седдлебакит, хитачиит), которые принято считать продуктами реакций теллуровисмутита и тетрадимита с галенитом (Спиридонов и др.,

1989; Clarke, 1997; Kuribayashi et al., 2019). Что касается теллуридов Ag и Au (гессит, петцит, сильванит, штютцит), то имеющиеся данные не дают достаточной информации для выводов о времени их кристаллизации.

Несмотря на то, что Бурановское месторождение открыто почти сто лет назад, изученность его минералогии оставалась довольно фрагментарной. К счастью, отвалы месторождения неплохо сохранились, что позволило собрать здесь в 2021–2022 гг. интересный исследовательский материал и установить в нем целый ряд интересных и редких рудных минералов. Указанные находки не только существенно пополняют минералогический кадастр самого объекта, но и вносят вклад в минералогические кадастры Южного Урала и всей России.

*Авторы благодарны И.В. Пекову, Е.В. Белогуб и И.Ю. Мелекесцевой за ценные комментарии и редакторскую правку статьи, И.В. Пекову – за рентгеновскую съемку айкинита, М.А. Рассоманину – за содействие в оформлении иллюстраций, В.В. Гуржию, Д.А. Клейменову, М.П. Попову и А.Г. Турчковой – за помощь в поиске литературных источников.*

### Литература

**Белов С.В., Фролов А.А.** (1984) Штокверковый тип вольфрамового оруденения в дайках Бурановского месторождения (Южный Урал). *Геология рудных месторождений*, **2**, 12–19.

**Гаврусевич Б.О.** (1957) О химическом составе некоторых шеелитов Гумбейского месторождения на Урале. *Научные записки Киевского университета*, **16**(14), 189–191.

**Гармаш А.А., Курбатова Н.З.** (1963) Селен и теллур в рудах Золотушинского месторождения (Рудный Алтай). *Редкие элементы в сульфидных месторождениях. Труды ИМГРЭ*, **10**, 136–137.

**Завьялов Е.Н., Бегизов В.Д.** (1977) Раклиджит (Bi,Pb)<sub>3</sub>Te<sub>4</sub> – новый минерал из золоторудных месторождений Зод и Кочкарь. *Записки ВМО*, **106**(1), 62–68.

**Золоев К.К., Левин В.Я., Мормиль С.И., Шардакова Г.Ю.** (2004) Минерагения и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала. Екатеринбург, Министерство природных ресурсов РФ, ГУПР по Свердловской обл., Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, ОАО УГСЭ, 336 с.

**Зырянова Л.А., Пеков И.В., Япаскурт В.О., Бритвин С.Н.** (2015) Перит PbBi<sub>2</sub>O<sub>2</sub>Cl из Захаровского месторождения (Северо-Западный Алтай) – первая находка в России. *Вестник Томского государственного университета*, **395**, 241–243.

- Карташов П.М., Пеков И.В., Марсий И.М.** (1993) О первой находке перита на территории СНГ. *Доклады Академии наук*, **332**(5), 617–620.
- Касаткин А.В.** (2019) Новые находки редких минералов на территории постсоветских государств. *Минералогический альманах*, **24**(2), 4–47.
- Кемкина Р.А., Кемкин И.В., Прокопьева С.В.** (2012) Теллурическая минерализация руд Прасоловского месторождения. SWorld, <https://www.sworld.com.ua/konfer28/569.pdf>
- Коржинский А.Ф.** (1959) Околожилльные изменения боковых пород Гумбейских месторождений шеелита. *Вопросы геологии Урала. Минералогия и геохимия. Труды Института геологии и геохимии УФ АН СССР*, **42**, 17–41.
- Коржинский Д.С.** (1955) Очерк метасоматических процессов / Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М., АН СССР, 334–456.
- Матвеев К.К.** (1928) Гумбейские вольфрамовые месторождения. *Доклады Академии наук СССР*, 128–132.
- Матвеев К.К.** (1929) Материалы к минералогии Гумбейского месторождения шеелита. *Материалы Уральского отделения Геологического комитета*, **1**, 57–67.
- Монахов В.С., Фомин Ю.А., Парфенова А.Я., Малых М.М., Сукач В.В., Дышук М.Ю., Абдельхак Э.А.** (1998) Теллуридная минерализация золоторудных проявлений Среднего Приднепровья. *Минералогический журнал*, **20**(4), 3–16.
- Покровский П.В.** (1961) Штольцит. *Труды Горно-геологического института УФ АН СССР*, **56**, 53–60.
- Рубель Р.Б., Анполов Н.А.** (1937) О нахождении вольфрамовой охры в Гумбейских шеелитовых месторождениях. *Труды и материалы Свердловского горного института*, **3**, 22–26.
- Состояние и перспективы использования минерально-сырьевой базы Челябинской области на 15.03.2021. Справка ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 г. № 049-00016-21-00. <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/6479bf29a33b3f36efe55911ed293fc0.pdf>
- Середкин М.В.** (1995) Первые данные о родингитах Гумбейского месторождения, Южный Урал. *Уральская летняя минералогическая школа-95*. Екатеринбург, УГГГА, 51–53.
- Середкин М.В.** (1996) Шеелит Гумбейского месторождения, Ю. Урал. *Уральская летняя минералогическая школа-96*. Екатеринбург, УГГГА, 75–81.
- Середкин М.В.** (2000) Метасоматиты гумбеитовой формации Гумбейского рудного поля и Шарташского массива, Урал. *Петрология*, **8**(3), 280–308.
- Середкин М.В., Кононкова Н.Н.** (1997) Биотит-кашлишпатовая фация гумбеитовой формации и связанная с ней рудная минерализация (молибдошеелит, W-рутил). *Уральская летняя минералогическая школа-97*. Екатеринбург, УГГГА, 195–198.
- Середкин М.В., Лапутина И.П.** (1997) О ритмично-зональном молибдошеелите Гумбейского месторождения. *Записки РМО*, **126**(1), 70–75.
- Смолин А.П.** (1929) Гумбейские месторождения вольфрама. Предварительный отчет об исследованиях 1927 г. *Материалы Уральского отделения Геологического Комитета*, **1**, 27–56.
- Смолин А.П.** (1975) Структурная документация золоторудных месторождений. М., Недра, 240 с.
- Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Кононкова Н.Н., Устинов В.И., Прибавкин С.В., Середкин М.В., Куруленко Р.С.** (1996) Гумбеиты Урала и их рудная минерализация. *Уральская летняя минералогическая школа-96*. Екатеринбург, УГГГА, 67–75.
- Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Куруленко Р.С., Прокофьев В.Ю., Середкин М.В., Устинов В.И., Прибавкин С.В., Филимонов С.В.** (1997) Гумбеитовая формация Урала. М., МГУ, 97 с.
- Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Куруленко Р.С., Середкин М.В., Прокофьев В.Ю., Устинов В.И., Филимонов С.В.** (1998) Гумбеиты Урала и сопряженная рудная минерализация, условия формирования. *Геология рудных месторождений*, **40**(2), 171–190.
- Спиридонов Э.М., Ершова Н.А., Тананаева О.И.** (1989) Кочкарит  $PbBi_4Te_7$  – новый минерал контактово-метаморфизованных руд. *Геология рудных месторождений*, **31**(4), 98–102.
- Степанов И.С.** (1933а) Шеелит на Южном Урале. *Редкие металлы*, **1**, 5–11.
- Степанов И.С.** (1933б) К вопросу организации комплексного использования Бурановской руды. *Редкие металлы*, **6**, 50–53, 57.
- Степанов И.С.** (1954) Гумбейские месторождения шеелита на Южном Урале / Минералогия Урала. М., АН СССР, **1**, 242–249.
- Фаворский А.А.** (1940) Шеелит из Гумбейского месторождения на Южном Урале. *Ученые записки ЛГУ, серия геологических наук*, **45**(8), 176–189.
- Фаворский А.А.** (1945) О некоторых полевых шпатах Гумбейского шеелитового месторождения (Южный Урал). *Записки ВМО*, **74**(41), 275–284.
- Фаворский А.А.** (1948) К минералогии Гумбейских шеелитовых месторождений (Южный Урал). *Ученые записки ЛГУ, серия геологических наук. Геология и геохимия*, **93**(14), 54–108.
- Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М., Агроскин А.С., Папаян Г.В., Виноградова Р.А., Лебедева С.И., Завьялов Е.Н., Филимонова А.А., Петров В.К., Раутиан Л.П., Свешникова О.Л.** (1988) Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М., Недра, 504 с.
- Юшкин Н.П., Иванов О.К., Попов В.А.** (1986) Введение в топоминералогию Урала. М., Наука, 294 с.

**Юшко-Захарова О.Е.** (1963) К геохимии селена и теллура в медно-никелевых месторождениях. *Редкие элементы в сульфидных месторождениях. Труды ИМ-ГРЭ*, **10**, 100–124.

**Affi A.M., Kelly W.C., Essene E.J.** (1988a) Phase Relations among Tellurides, sulfides, and Oxides: II. Thermochemical Data and Calculated Equilibria. *Economic Geology*, **83**, 377–395.

**Affi A.M., Kelly W.C., Essene E.J.** (1988b) Phase Relations among Tellurides, Sulfides, and Oxides: II. Applications to Telluride-Bearing Ore Deposits. *Economic Geology*, **83**, 395–404.

**Atencio D., Andrade M.B., Christy A.G., Gieré R., Kartashov P.M.** (2010) The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. *The Canadian Mineralogist*, **48**, 673–698.

**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*, **105**, 109–122.

**Bridge P.J.** (1976) A second occurrence of perite. *Mineralogical Magazine*, **40**, 537.

**Cioabanu C., Cook N., Spry P.** (2006) Preface – Special Issue: Telluride and selenide, minerals in gold deposits – how and why? *Mineralogy and Petrology*, **87**, 163–169.

**Ciriotti M.E., Kolitsch U., Blass G., Sancassani A., Ambrino P.** (2010) Secondo ritrovamento di perite in Sardegna: Sa Duchessa, Oridda, Domusnovas. *Micro*, **1**, 128–133.

**Clarke R.M.** (1997) Saddlebackite,  $Pb_2Bi_2Te_2S_3$ , a new mineral species from the Boddington gold deposit, Western Australia. *Australian Journal of Mineralogy*, **3**, 119–124.

**Cossu C., Tovo A., Fiori S., Pucci R.** (1998) I minerali presenti nelle apliti dell'isola de La Maddalena (SS). *Il Cercapietre*, **24**, 15–38.

**Gelaude P., van Kalmthout P., Rewitzer C.** (1996) Laurion: The minerals of the ancient slags, Nijmegen, Janssen Print, 195 p.

**Gillberg M.** (1960) Perite, a new oxyhalide mineral from Långban, Sweden. *Arkiv för Mineralogi och Geologi*, **2**, 565–570.

**Husdal T.** (2019) Nyfunn av mineraler fra Tysfjordpegmatittene, Nordland. *Norsk Mineralsymposium 2019*, 31–46.

**Kampf A.R., Mills S.J., Housley R.M.** (2010a) The crystal structure of munakataite,  $Pb_2Cu_2(Se^{4+}O_3)(SO_4)(OH)_4$ , from Otto Mountain, San Bernardino County, California, USA. *Mineralogical Magazine*, **74**, 991–998.

**Kampf A.R., Mills S.J., Housley R.M., Marty J., Thorne B.** (2010b) Lead-tellurium oxysalts from Otto Mountain near Baker, California: VI. Telluroperite,  $Pb_3Te^{4+}O_4Cl_2$ , the Te analogue of perite and nadorite. *American Mineralogist*, **95**, 1569–1573.

**Kampf A.R., Celestian A.J., Nash B.P., Marty J.** (2019) Phoxite,  $(NH_4)_2Mg_2(C_2O_4)(PO_3OH)_2(H_2O)_4$ , the first phosphate-oxalate mineral. *American Mineralogist*, **104**, 973–979.

**Ketterer J., Krämer V.** (1985) Structural characterization of the synthetic perites  $PbBiO_2X$ ,  $X = I, Br, Cl$ . *Materials Research Bulletin*, **20**, 1031–1036.

**Kuribayashi T., Nagase T., Nozaki T., Ishibashi J., Shimada K., Shimizu M., Momma K.** (2019) Hitachiite,  $Pb_3Bi_2Te_2S_6$ , a new mineral from the Hitachi mine, Ibaraki Prefecture, Japan. *Mineralogical Magazine*, **83**, 733–739.

**Mills S.J., Kampf A.R., Christy A.G., Housley R.M., Rossman G.R., Reynolds R.E., Marty J.** (2014) Bluebellite and mojaveite, two new minerals from the central Mojave Desert, California, USA. *Mineralogical Magazine*, **78**, 1325–1340.

**Pekov I.V., Zubkova N.V., Britvin S.N., Agakhonov A.A., Polekhovskiy Y.S., Pushcharovskiy D.Y., Möhn G., Desor J., Blass G.** (2018) Hanauerite, IMA 2018-045. CNMNC Newsletter No. 45, October 2018. *European Journal of Mineralogy*, **30**, 1037–1043.

**Pring A., Aird W., Kolitsch U.** (2003) Perite and russellite from South Australia. *Australian Journal of Mineralogy*, **9**, 87–90.

**Schnorrer G.** (1995) Mineralogische Neuheiten von bekannten deutschen Fundorten. *Lapis*, **20**, 43–48.

**Sillén L.G., Melander L.** (1941) X-ray studies on the oxihalide minerals nadorite (ochrolite)  $PbSbO_2Cl$  and ekdemite. *Zeitschrift für Kristallographie*, **103**, 420–430.

**Warr L.N.** (2021) IMA-CNMNC approved mineral symbols. *Mineralogical Magazine*, **85**, 291–320.

## References

**Affi A.M., Kelly W.C., Essene E.J.** (1988a) Phase Relations among Tellurides, Sulfides, and Oxides: II. Thermochemical Data and Calculated Equilibria. *Economic Geology*, **83**, 377–395.

**Affi A.M., Kelly W.C., Essene E.J.** (1988b) Phase Relations among Tellurides, sulfides, and Oxides: II. Applications to Telluride-Bearing Ore Deposits. *Economic Geology*, **83**, 395–404.

**Atencio D., Andrade M.B., Christy A.G., Gieré R., Kartashov P.M.** (2010) The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. *The Canadian Mineralogist*, **48**, 673–698.

**Belov S.V., Frolov A.A.** (1984) [Stockwork type of tungsten mineralization in dikes of Buranovskoe deposit (Southern Urals)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **2**, 12–19. (in Russian)

**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*, **105**, 109–122.

**Bridge P.J.** (1976) A second occurrence of perite. *Mineralogical Magazine*, **40**, 537.

**Chvileva T.N., Bezmertnaya M.S., Spiridonov E.M., Agroskin A.S., Papayan G.V., Vinogradova R.A., Lebedeva S.I., Zavyalov E.N., Filimonova A.A., Petrov V.K., Rautian L.P., Sveschnikova O.L.** (1988)

[Handbook of ore minerals in reflected light]. Moscow, Nedra, 504 p. (in Russian)

**Cioabanu C., Cook N., Spry P.** (2006) Preface – Special Issue: Telluride and selenide, minerals in gold deposits – how and why? *Mineralogy and Petrology*, **87**, 163–169.

**Ciriotti M.E., Kolitsch U., Blass G., Sancassani A., Ambrino P.** (2010) Secondo ritrovamento di perite in Sardegna: Sa Duchessa, Oridda, Domusnovas. *Micro*, **1**, 128–133. (in Italian)

**Clarke R.M.** (1997) Saddlebackite,  $Pb_2Bi_2Te_2S_3$ , a new mineral species from the Boddington gold deposit, Western Australia. *Australian Journal of Mineralogy*, **3**, 119–124.

**Cossu C., Tovo A., Fiori S., Pucci R.** (1998) I minerali presenti nelle apliti dell'isola de La Maddalena (SS). *Il Cercapietre*, **24**, 15–38. (in Italian)

**Favorskiy A.A.** (1940) [Scheelite from Gumbeiskoe deposit at Southern Urals]. *Uchenye zapiski LGU, seriya geologicheskikh nauk [Scientific Proceedings of the Leningrad State University, Geological Sciences Series]*, **45**(8), 176–189. (in Russian)

**Favorskiy A.A.** (1945) [Some feldspars of the Gumbeika scheelite deposit (Southern Urals)]. *Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, **74**(41), 275–284. (in Russian)

**Favorskiy A.A.** (1948) [Mineralogy of the Gumbeika scheelite deposits (Southern Urals)]. *Uchenye zapiski LGU, seriya geologicheskikh nauk. Geologiya i geokhimiya [Scientific Proceedings of the Leningrad State University, Geological Sciences Series. Geology and Geochemistry]*, **93**(14), 54–108. (in Russian)

**Garmash A.A., Kurbatova N.Z.** (1963) [Selenium and tellurium in ores of Zolotushinskoe deposit (Rudny Altai)]. *Redkie elementy v sulfidnykh mestorozhdeniyakh. Trudy IMGRE [Rare Elements in Sulfide Deposits. Proceedings of IMGRE]*, **10**, 136–137. (in Russian)

**Gavrusevich B.O.** (1957) [Chemical composition of some scheelites from the Gumbeika deposit in the Urals]. *Nauchnye zapiski Kievskogo universiteta [Scientific Proceedings of the Kiev University]*, **16**(14), 189–191. (in Russian)

**Gelaude P., van Kalmthout P., Rewitzer C.** (1996) Laurion: The minerals of the ancient slags, Nijmegen, Janssen Print, 195 p.

**Gillberg M.** (1960) Perite, a new oxyhalide mineral from Långban, Sweden. *Arkiv för Mineralogi och Geologi*, **2**, 565–570.

**Husdal T.** (2019) Nyfunn av mineraler fra Tysfjord-pegmatittene, Nordland. *Norsk Mineralsymposium 2019*, 31–46. (in Norwegian)

**Kampf A.R., Mills S.J., Housley R.M.** (2010a) The crystal structure of munakataite,  $Pb_2Cu_2(Se^{4+}O_3)(SO_4)(OH)_4$ , from Otto Mountain, San Bernardino County, California, USA. *Mineralogical Magazine*, **74**, 991–998.

**Kampf A.R., Mills S.J., Housley R.M., Marty J., Thorne B.** (2010b) Lead-tellurium oxysalts from

Otto Mountain near Baker, California: VI. Telluroperite,  $Pb_3Te^{4+}O_4Cl_2$ , the Te analogue of perite and nadorite. *American Mineralogist*, **95**, 1569–1573.

**Kampf A.R., Celestian A.J., Nash B.P., Marty J.** (2019) Phoxite,  $(NH_4)_2Mg_2(C_2O_4)(PO_3OH)_2(H_2O)_4$ , the first phosphate-oxalate mineral. *American Mineralogist*, **104**, 973–979.

**Kartashov P.M., Pekov I.V., Marsiy I.M.** (1993) [The first find of perite at the territory of CIS]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Academy of Sciences]*, **332**(5), 617–620. (in Russian)

**Kasatkin A.V.** (2019) New findings of rare minerals at the territory of the Former Soviet Union states. *Mineralogical Almanac*, **24**(2), 4–47.

**Kemkina R.A., Kemkin I.V., Prokopieva S.V.** (2012) [Tellurium mineralization in ores of Prasolovskoe deposit]. SWorld. <https://www.sworld.com.ua/konfer28/569.pdf>. (in Russian)

**Ketterer J., Krämer V.** (1985) Structural characterization of the synthetic perites  $PbBiO_x$ ,  $X = I, Br, Cl$ . *Materials Research Bulletin*, **20**, 1031–1036.

**Korzhinskiy A.F.** (1959) [Near-vein alterations of wall rocks of the Gumbeika scheelite deposits]. *Voprosy geologii Urala. Mineralogiya i geokhimiya. Trudy Instituta geologii i geokhimi UF AN SSSR [Problems of Geology of the Urals. Mineralogy and Geochemistry. Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry Uralian Branch, Academy of Sciences USSR]*, **42**, 17–41. (in Russian)

**Korzhinskiy D.S.** (1955) [Essay on metasomatic processes]. In: *Osnovnye problemy v uchenii o magmatogennykh rudnykh mestorozhdeniyakh [Main Problems in the Theory of Magmatic Ore Deposits]*. Moscow, AN SSSR, 334–456. (in Russian)

**Kuribayashi T., Nagase T., Nozaki T., Ishibashi J., Shimada K., Shimizu M., Momma K.** (2019) Hitachiite,  $Pb_5Bi_2Te_2S_6$ , a new mineral from the Hitachi mine, Ibaraki Prefecture, Japan. *Mineralogical Magazine*, **83**, 733–739.

**Matveev K.K.** (1928) [Gumbeika tungsten deposits]. *Doklady Akademii nauk SSSR [Doklady Academy of Sciences of the USSR]*, 128–132. (in Russian)

**Matveev K.K.** (1929) [Materials on mineralogy of the Gumbeika scheelite deposit]. *Materialy Uralskogo otdeleniya geologicheskogo komiteta [Materials of the Uralian Branch of Geological Committee]*, **1**, 57–67. (in Russian)

**Mills S.J., Kampf A.R., Christy A.G., Housley R.M., Rossman G.R., Reynolds R.E., Marty J.** (2014) Bluebellite and mojaveite, two new minerals from the central Mojave Desert, California, USA. *Mineralogical Magazine*, **78**, 1325–1340.

**Monakhov V.S., Fomin Yu.A., Parfenova A.Ya., Malykh M.M., Sukatch V.V., Dyshchuk M.Yu., Abdellhak E.A.** (1998) [Te mineralization of gold occurrences of the Central Dnieper region]. *Mineralogicheskii zhurnal [Mineralogical Magazine]*, **20**(4), 3–16. (in Russian)

**Pekov I.V., Zubkova N.V., Britvin S.N., Agakhonov A.A., Polekhovskiy Y.S., Pushcharovskiy D.Y., Möhn**

- G., Desor J., Blass G.** (2018) Hanauerite, IMA 2018-045. CNMNC Newsletter No. 45, October 2018. *European Journal of Mineralogy*, **30**, 1037–1043.
- Pokrovskiy P.V.** (1961) [Stolzite]. *Trudy Gornogeologicheskogo instituta UF AN SSSR [Reports of the Mining-Geological Institute of the Uralian Branch, Academy of Sciences of the USSR]*, **56**, 53–60. (in Russian)
- Pring A., Aird W., Kolitsch U.** (2003) Perite and russellite from South Australia. *Australian Journal of Mineralogy*, **9**, 87–90.
- Rubel R.B., Appolov N.A.** (1937) [Findings of tungsten ochre in the Gumbeika scheelite deposits]. *Trudy i materialy Sverdlovskogo gornogo instituta [Reports and Materials of the Sverdlovsk Mining Institute]*, **3**, 22–26. (in Russian)
- Schnorrer G.** (1995) Mineralogische Neuheiten von bekannten deutschen Fundorten. *Lapis*, **20**, 43–48. (in German)
- Seryodkin M.V.** (1995) [First data on rodingites of the Gumbeika deposit, Southern Urals]. *Uralskaya letnyaya mineralogicheskaya shkola-95 [Urals Summer Mineralogical School-95]*. Yekaterinburg, UGGGA, 51–53. (in Russian)
- Seryodkin M.V.** (1996) [Scheelite from the Gumbeika deposit, S. Urals]. *Uralskaya letnyaya mineralogicheskaya shkola-96 [Urals Summer Mineralogical School-96]*. Yekaterinburg, UGGGA, 75–81. (in Russian)
- Seryodkin M.V.** (2000) [Metasomatites of the gumbeite complex of the Gumbeika ore field and Shartash pluton, Urals]. *Petrologiya [Petrology]*, **8**(3), 280–308. (in Russian)
- Seryodkin M.V., Kononkova N.N.** (1997) [Biotite-K-feldspar facies of the gumbeite complex and associated ore mineralization (molybdoscheelite, W-rutile)]. *Uralskaya letnyaya mineralogicheskaya shkola-97 [Urals Summer Mineralogical School-97]*. Yekaterinburg, UGGGA, 195–198. (in Russian)
- Seryodkin M.V., Laputina I.P.** (1997) [Rhythmic-zonal molybdoscheelite from the Gumbeika deposit]. *Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, **126**(1), 70–75. (in Russian)
- Sillén L.G., Melander L.** (1941) X-ray studies on the oxihalide minerals nadorite (ochrolite)  $PbSbO_2Cl$  and ekdemite. *Zeitschrift für Kristallographie*, **103**, 420–430.
- Smolin A.P.** (1929) [Gumbeika tungsten deposits. Preliminary report on studies in 1927]. *Materialy Uralskogo otdelenia Geologicheskogo komiteta [Materials of the Uralian branch of the Geological Committee]*, **1**, 27–56. (in Russian)
- Smolin A.P.** (1975) [Structural documentation of gold deposits]. Moscow, Nedra, 240 p. (in Russian)
- Spiridonov E.M., Baksheev I.A., Kononkova N.N., Ustinov V.I., Pribavkin S.V., Seryodkin M.V., Kurulenko R.S.** (1996) [Gumbeites of the Urals and their ore mineralization]. *Uralskaya letnyaya mineralogicheskaya shkola-96 [Urals Summer Mineralogical School-96]*. Yekaterinburg, UGGGA, 67–75. (in Russian)
- Spiridonov E.M., Baksheev I.A., Kurulenko R.S., Prokofiev V.Yu., Seriodkin M.V., Ustinov V.I., Pribavkin S.V., Filimonov S.V.** (1997) [Gumbeite complex of the Urals]. Moscow, MSU, 97 p. (in Russian)
- Spiridonov E.M., Baksheev I.A., Kurulenko R.S., Seryodkin M.V., Prokofiev V.Yu., Ustinov V.I., Filimonov S.V.** (1998) [Gumbeites of the Urals and associated ore mineralization and formation conditions]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **40**(2), 171–190. (in Russian)
- Spiridonov E.M., Ershova N.A., Tananaeva O.I.** (1989) [Kochkarite  $PbBi_4Te_7$  – a new mineral of contact metamorphosed ores]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **31**(4), 98–102. (in Russian)
- [Status and prospects for the use of the mineral resource base of Chelyabinsk region as of March 15, 2021]. Issued by FSBI “VSEGEI” within the framework of the implementation of the State task of the Federal Agency for Earth dated January 14, 2021 no. 049-00016-21-00. <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/6479bf29a33b3f36efe55911ed293fc0.pdf> (in Russian)
- Stepanov I.S.** (1933a) [Scheelite at the Southern Urals]. *Redkie metally [Rare Metals]*, **1**, 5–11. (in Russian)
- Stepanov I.S.** (1933b) [Organization of the complex use of the Buranovsky ore]. *Redkie metally [Rare Metals]*, **6**, 50–53, 57. (in Russian)
- Stepanov I.S.** (1954) [Gumbeiskie scheelite deposits at Southern Urals]. In: *Mineralogiya Urala [Mineralogy of the Urals]*. Moscow, AN SSSR, **1**, 242–249. (in Russian)
- Warr L.N.** (2021) IMA-CNMNC approved mineral symbols. *Mineralogical Magazine*, **85**, 291–320.
- Yushkin N.P., Ivanov O.K., Popov V.A.** (1986) [Introduction to topomineralogy of the Urals]. Moscow, Nauka, 294 p. (in Russian)
- Yushko-Zakharova O.E.** (1963) [Geochemistry of Se and Te in Cu-Ni deposits]. *Redkie elementy v sulfidnykh mestorozhdeniyakh [Rare Elements in Sulfide Deposits. Trudy IMGRE. Reports of IMGRE]*, **10**, 100–124. (in Russian)
- Zav’yalov E.N., Begizov V.D.** (1977) [Rucklidgeite,  $(Bi,Pb)_3Te_4$ , a new mineral from the Zod and Kochkar gold ore deposits]. *Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, **106**(1), 62–68. (in Russian)
- Zoloev K.K., Levin V.Ya., Mormil S.I., Schardakova G.Yu.** (2004) [Minerageny and deposits of rare metals, molybdenum, tungsten of the Urals]. Yekaterinburg, Ministerstvo prirodnykh resursov RF, GUPR po Sverdlovskoy obl., Institut geologii i geokhimii in. A.N. Zavaritskogo, OAO UGSE, 336 p. (in Russian)
- Zyryanova L.A., Pekov I.V., Yapaskurt V.O., Britvin S.N.** (2015) [Perite  $PbBiO_2Cl$  from the Zakharovskoe deposit (North-Western Altai) – the first find in Russia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University]*, **395**, 241–243. (in Russian)