
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ

**ЗАВАРИЦКИТ ИЗ СУЛЬФИДНО-МАГНЕТИТОВЫХ РУД СКАРНОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКТАШ, ЗАПАДНЫЙ КАРАМАЗАР,
СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН**

© 2021 г. У. А. Ятимов^{1, 2, *}, д. чл. Е. В. Белогуб¹, В. В. Шиловских³, И. А. Блинов¹

¹Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, территория Ильменский заповедник,
Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия

²Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, Челябинск, 454080 Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, ресурсный центр “Геомодель”,
ул. Ульяновская, 1, Санкт-Петербург, 198504 Россия

*e-mail: umed1990@list.ru

Поступила в редакцию 24.09.2020 г.

После доработки 04.11.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Методами оптической и сканирующей электронной микроскопии, дифракции обратного-рассеянных электронов диагностирован редкий минерал заварицкит из сульфидно-магнетитовых руд скарного месторождения Акташ в северном Таджикистане. Заварицкит установлен в ассоциации с самородным висмутом, халькопиритом, галенитом и гипергенными оксидами висмута, и англезитом. Это первая находка заварицкита не только для месторождения, но и для всей висмутоносной Кураминской подзоны Чаткало-Кураминской зоны.

Ключевые слова: заварицкит, висмутовые минералы, сульфидно-магнетитовые руды, скарны, месторождение Акташ, Западный Кармазар

DOI: 10.31857/S0869605521010135

ВВЕДЕНИЕ

Заварицкит BiOF — редкий минерал, открытый в редкометальном месторождении Шерловая Гора в Восточном Забайкалье как продукт окисления висмутита в кварц-сидерофиллитовом грейзене (Доломанова и др., 1962). К настоящему времени заварицкит установлен на разных месторождениях, генетически связанных с гранитоидами. Примерами таких месторождений могут служить следующие объекты:

– скарновые: Питкярантский рудный район, Карелия (Иващенко, 2011; Иващенко, Голубев, 2015), Лаврион, Греция (Kolitsch, 2015);

– гидротермальные жилы в гранитах: Баджальский рудный район, Хабаровский край (Алексеев, Марин, 2014), Шток Контактный, Чукотка (Сидоров и др., 2007), Белальказар, Испания (Rewitzer, 2018), Каррис, Португалия (Mouga, 2014), Волфгрубен, Австрия (Auer, 2019);

– пегматитовые: Плоская гора, Кольский полуостров (Волошин, Пахомовский, 1986), Квебек, Канада (Miles, 1971), Тингерла, Италия (Ferretti, 2018);

– грейзеновые: Элмор, Австралия (Rankin et al., 2002), Красно, Чехия (Sejkor, 2006), Шерловая гора, Россия (Доломанова и др., 1962).

Нами заварицкит установлен в сульфидно-магнетитовых рудах месторождения Акташ, которое расположено в Кансайском рудном поле Западно-Карамазарского рудного района (юго-западные отроги Кураминского хребта) в северной части Республики Таджикистан. Минералы висмута в данном регионе ранее детально изучались Э.А. Дунин-Барковской (1978) и С.Т. Бадаловым (1991), но заварицкит этими авторами найден не был. Настоящая статья посвящена описанию первой находки заварицкита в северном Таджикистане.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы для исследований были отобраны из отвалов разведочной шахты месторождения в 2018 г. Минеральный состав изучен в аншлифах при помощи микроскопа Olympus BX51 с цифровой приставкой Olympus DP12. Химический состав минералов исследован с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Tescan Vega 3 sbu с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act (Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, аналитик И.А. Блинов). Количественный анализ проведен с использованием эталонов MINM-25-53 фирм “ASTIMEX Scientific Limited” (стандарт № 01-044) и “Microanalysis Consultants Ltd.” (стандарт № 1362).

Картинки дифракции электронов получены с использованием СЭМ HITACHI S-3400N с детектором дифракции отраженных электронов (EBSD) Oxford HKL Nordlys Nano (НП СПбГУ, ресурсный центр “Геомодель”, аналитик В.В. Шиловских) при ускоряющем напряжении 15 кВ, токе зонда 0.2 нА, усреднении 20 картин, общем времени накопления 30 с на точку. Условия съемки карт EBSD: 30 кВ, ток пучка 2 нА, усреднение 3 картин на точку, время экспозиции — 0.5 с на кадр. Травление аргоновой плазмой проводилось на установке Oxford IonFab 300, экспозиция 10 мин., угол 70°, ускоряющее напряжение 500 В, ток 200 мА, диаметр пучка 4 дюйма (НП СПбГУ, ресурсный центр “Нанопотоника”, М.С. Ложкин.).

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Район месторождения Акташ сложен осадочными и изверженными породами, а также скарновыми образованиями (рис. 1). Осадочные толщи образованы известняками (D_3-C_1) и молассовыми отложениями (MZ–KZ), слагающими южную предгорную часть хребта Карамазар (Вольфсон, 1951; Рахимов, 1978). Интрузивные породы представлены гранодиоритами (C_2), гранодиорит-порфирами и диоритами (C_2-T_2), с которыми и связано развитие скарнов (Вольфсон, Титов, 1965).

Рудоносные скарны залегают в основном на контакте карбонатных пород с гранодиоритами или гранодиорит-порфирами. Иногда скарны образуют жилообразные и трубообразные тела, залегающие в карбонатных породах или, реже, гранитоидах. Главными минералами скарнов являются пироксены ряда диопсид–геденбергит, амфиболы ряда актинолит–тремолит, гранаты ряда гроссуляр–андрадит, эпидот и кальцит. Руды по минеральному составу делятся на четыре типа: магнетитовые, галенит-сфалеритовые и халькопирит-пирротин-пиритовые (Рахимов, 1978). По сравнению со скарнами, магнетитовые руды являются более поздними образованиями, а завершает рудный процесс отложение сульфидов.

ЗАВАРИЦКИТ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКТАШ

Заварицкит был найден в массивных сульфидно-магнетитовых рудах. Эта разновидность руд характеризуется ритмично-полосчатой текстурой, выраженной в чередовании полос выдержанной мощности 5–7 см, состоящих либо из однородного магнетитового, либо из сульфидно-магнетитового агрегата (рис. 2, а). В пределах сульфидно-магнетитовых полос сульфиды распределены неравномерно и образуют скопления

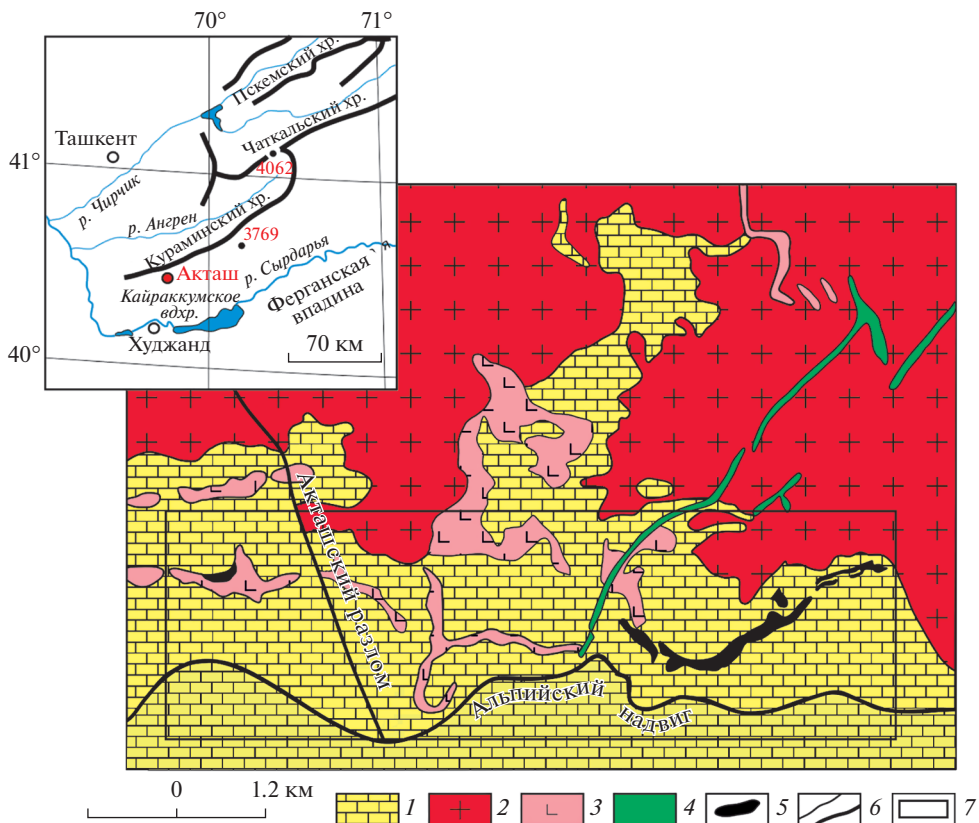


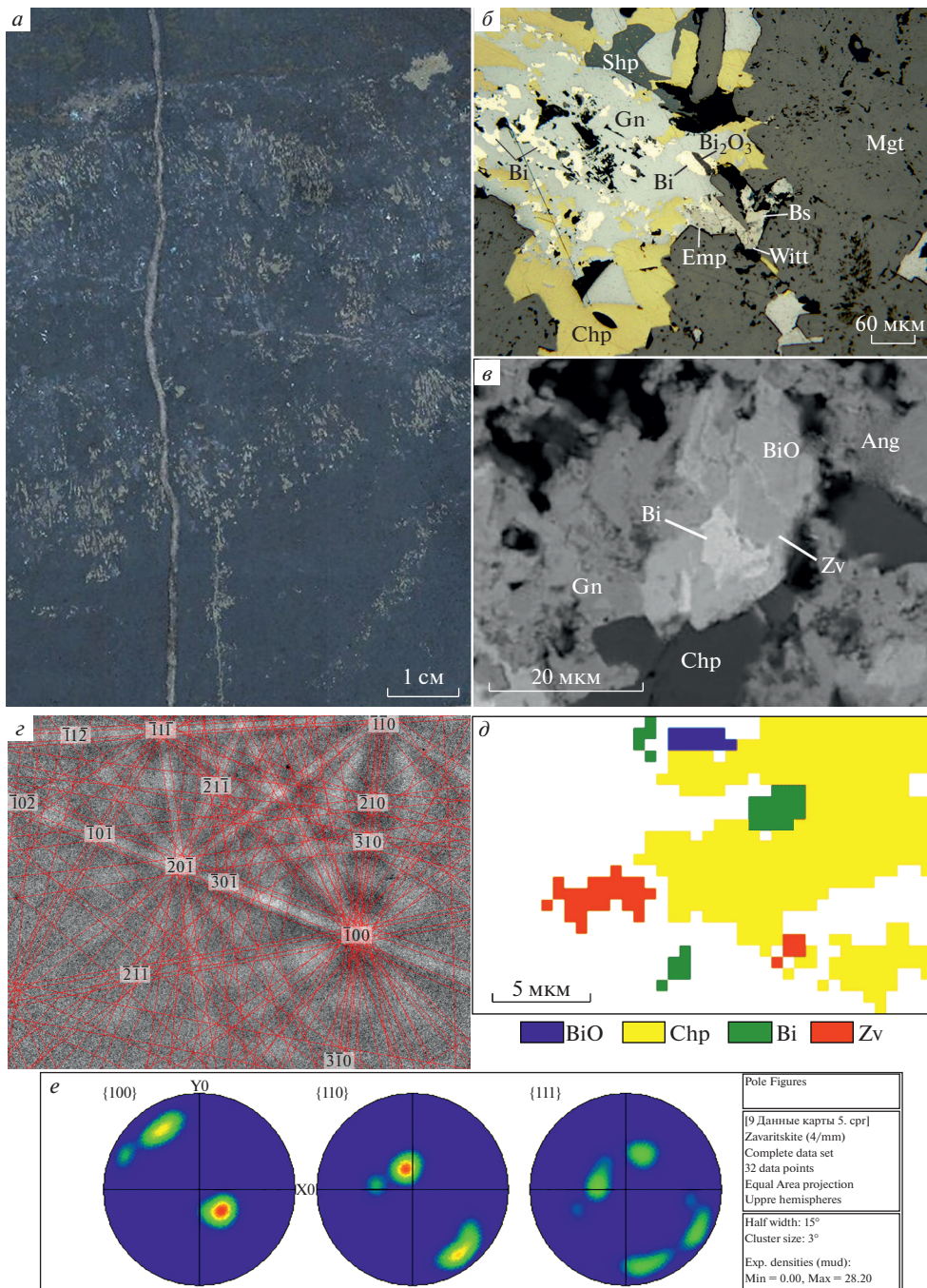
Рис. 1. Географическое положение Чаткало-Кураминских гор (врезка) и схематическая геологическая карта площади месторождения Акташ (Вольфсон, 1951, с упрощениями).

1 – карбонатные породы (D_3-C_1); 2 – гранодиориты (C_2); 3 – гранодиорит-порфиры (C_3-P_1); 4 – диоритовые порфиры (дайка) (C_3-T_2); 5 – скарны с сульфидным оруденением; 6 – разломы и надвиги; 7 – участок месторождения.

Fig. 1. Geographic position of the Chatkal-Kurama Mountains (inset) and geological sketch map of the Aktash deposit (Vol'fson, 1951, simplified): 1 – carbonate rocks (D_3-C_1); 2 – granodiorites (C_2); 3 – granodiorite porphyry (C_3-P_1); 4 – diorite porphyry (dyke) (C_3-T_2); 5 – skarns with sulfide mineralization; 6 – faults and thrusts; 7 – site of the deposit.

неправильной формы размером до 0.6 см, тонкую вкрапленность и секущие прожилки в магнетитовой массе. Сульфиды представлены пиритом, галенитом, халькопиритом и сфалеритом (рис. 2, а). В составе руд присутствуют скарновые минералы, а также шеелит, циркон, торит, пирофанит и титанит, в небольшом количестве установлены продукты окисления сульфидов (Ятимов и др., 2020).

Магнетит представлен несколькими морфологическими разновидностями: радиально-лучистыми и почковидными агрегатами, пластинчатыми индивидами (псевдоморфозы по гематиту), идиоморфными кристаллами кубической формы. Пространство между агрегатами магнетита заполнено пироксеном, гранатом, кальцитом и эпидотом. Пирит образует мелкозернистые агрегаты и эвгедральные кристаллы размером до 150 мкм. Галенит в виде небольших скоплений выполняет интерстиции агрегатов маг-



нетита, пирита, халькопирита и реже сфалерита (рис. 2, б). Размеры выделений галенита варьируют от 10 до 400 мкм. В галените часто наблюдаются включения самородного висмута, сульфидов и сульфосолей висмута. С поверхности галенит иногда частично замещается гипергенным англезитом. Халькопирит обычно образует эмульсионную вкрапленность в сфалерите, иногда – ксеноморфные скопления размером до 250 мкм в магнетитовом агрегате, в которых ассоциирует с галенитом, пиритом, сфалеритом и пироксеном. Сфалерит встречается совместно с другими сульфидами и редко образует микровключения в пирите и халькопирите.

Висмутовая минерализация представлена самородным висмутом, висмутином и сульфосолями системы Cu–Ag–Pb–Bi, заварицкитом и гипергенными оксидами висмута (Ятимов и др., 2019). Перечисленные минералы висмута обычно образуют взаимные сростки и сосредоточены в агрегатах галенита, ассоциирующего с халькопиритом (рис. 2, б–з).

Заварицкит BiOF обнаружен в виде зерен размером до 10 мкм с извилистыми границами в составе сложного включения в халькопирите, представленного самородным висмутом, галенитом и продуктами их гипергенного изменения – оксидами висмута, англезитом (рис. 2, в, д). Вкрапленность субмикронных зерен заварицкита иногда присутствует в агрегатах оксидов висмута, обнаруженных в других образцах при изучении с применением СЭМ.

Типичный химический состав изученного заварицкита следующий (мас. %): Bi₂O₃ 95.61, F 7.31, O = F₂ 3.07, сумма 99.85. Рассчитанная на сумму атомов, равную трем, кристаллохимическая формула имеет вид: Bi_{1.01}O_{1.04}F_{0.95}. Эти данные очень близки к теоретическому составу и формуле заварицкита. В одном из анализов установлена незначительная примесь железа (0.47 мас. % FeO).

Картинки дифракции электронов были получены для двух фрагментов, на которые разбилось после травления плазмой самое крупное из найденных зерен заварицкита (рис. 2, д). Картина дифракции заварицкита хорошо соответствует теоретической [MAD (многоволновая аномальная дифракция) = 0.86°, совпадение по 9 полосам], построенной по структурной модели этого минерала (рис. 2, з), описанной в (Wyskoff, 1964). EBSD картирование участка показало, что структура обоих зерен соответствует заварицкиту. Они непосредственно заключены в агрегат аморфных оксидов висмута, развитый на контакте самородного висмута и халькопирита, не дающий картин ди-

Рис. 2. Позиция заварицкита в сульфидно-магнетитовых рудах (а–в) и результаты анализа методом EBSD (з–д). а – полосчатая текстура сульфидно-магнетитовой руды (полированный образец); б – положение ассоциации минералов висмута в халькопирит-галенитовом гнезде (фотография аншлифа в отраженном свете); в – заварицкит и оксид висмута, замещающие самородный висмут (фотография аншлифа в обратно-отраженных электронах); з – картина дифракции электронов изученного заварицкита и наложенная теоретическая картина Кикучи заварицкита; д – EBSD карта участка с заварицкитом, белым обозначена область, не дающая полос Кикучи; е – полюсные фигуры заварицкита для EBSD карты на рис. 2, д. Zv – заварицкит, Bi – самородный висмут, Emp – эмплектит, Witt – виттихенит, Bs – висмутин, Gn – галенит, Chp – халькопирит, Mgt – магнетит, Ang – англезит, Bi_xO_y – оксиды висмута неуточненные, Bi₂O₃ – бисмит.

Fig. 2. Position of zavaritzkite in sulfide-magnetite ore (a–v) and results of EBSD analysis (z–d): a – banded structure of sulfide-magnetite ore (polished sample); б – location of the bismuth minerals association in the chalcopyrite-galena net (polished section in reflected light); в – zavaritzkite and bismuth oxide replacing the native bismuth (BSE photo); з – electron diffraction pattern of studied zavaritzkite and superimposed theoretical Kikuchi pattern of zavaritzkite; д – EBSD map of a spot with zavaritzkite, white-colored area does not give Kikuchi bands; е – pole figures of zavaritzkite for the EBSD map on Fig. 2, d. Zv – zavaritzkite, Bi – native bismuth, Emp – emplectite, Witt – wittichenite, Bs – bismuthite, Gn – galena, Chp – chalcopyrite, Mgt – magnetite, Ang – anglesite, Bi_xO_y – unspecified bismuth oxides, Bi₂O₃ – bismite.

фракции (рис. 2, *д*). Структура небольшого участка оксидов висмута, не контактирующих непосредственно с заварицкитом, идентифицируется как бисмит. Полюсные фигуры заварицкита соответствуют двум различно ориентированным монокристалльным зернам (рис. 2, *е*).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геохимическая связь висмута и фтора описана на многих рудных полях, связанных с гранитоидным магматизмом (Волошин, Пахомовский, 1986; Бадалов, 1991; Сидоров и др., 2007; Иващенко, 2011; Алексеев, Марин, 2014). В Кураминском хребте описано висмутовое оруденение в кварц-флюоритовых жилах среди гранитоидных интрузивов (Дунин-Барковская, Юсупов, 1974, 1976). Парагенезис висмутовых минералов с флюоритом на месторождениях этого региона свидетельствует об участии фтористых соединений в процессе гидротермального минералообразования (Дунин-Барковская, 1978). Это подтверждается данными Э.А. Дунин-Барковской и Р.Г. Юсупова о высоких содержаниях висмута (до 2000 г/т) в акцессорном топазе из магматических пород, увеличении содержания висмута в кислых породах с калиевой специализацией и приуроченности к ним висмутовых и флюоритовых месторождений (Дунин-Барковская, Юсупов, 1974, 1976).

В месторождениях и рудопрооявлениях Кураминского хребта описано значительное число минералов висмута, включая самородный висмут, сульфиды и сульфосоли – висмутин, галенобисмутит, устарсит, козалит, лиллианит, сахароваит (Bi-содержащий джемсонит), кобеллит, эмплектит, виттихенит, айкинит, шапбахит, матильдит, бенжаминит, берриит; сульфотеллуриды и теллуриды – ингодит, тетрадимит, жозеит; селенид гуанахуатит, соединение состава Vi_2Te_2O . В окисленных рудах описаны оксиды висмута (Дунин-Барковская, 1978). Учитывая сказанное выше о фтор-висмутовой геохимической специализации района, находка заварицкита закономерна.

Чаще всего заварицкит образуется при окислении самородного висмута или висмутин в присутствии фтора во флюиде и непосредственно ассоциирует с минералами фтора. На месторождении Яхимов (Чехия) заварицкит найден в виде оторочек вокруг самородного висмута в агрегатах флюорита (Ondruš et al., 2003), а в литий-фтористых гранитах Дальнего Востока заварицкит с реликтами самородного висмута выполняет интерстиции между зернами топаза (Алексеев, Марин, 2014). Для заварицкита предполагается как гипогенное (Ondruš et al., 2003; Алексеев, Марин, 2014; Иващенко, Голубев, 2015), так и гипергенное происхождение (Доломанова и др., 1962).

На месторождении Акташ все обнаруженные нами выделения заварицкита непосредственно контактируют с гипергенными оксидами висмута. Субмикронные зерна заварицкита полностью заключены в оксидах висмута и, вероятно, являются реликтовыми. Самое крупное зерно локализовано на контакте халькопирита и самородного висмута и, возможно, является продуктом замещения последнего. Заварицкит представлен, хоть и мелкими, но монокристаллическими зернами, дающими четкие дифракционные картины, о чем свидетельствуют полученные полюсные фигуры (рис. 2, *е*). В то же время он окружен аморфными либо очень тонкозернистыми оксидами висмута, не дающим полос Кикучи и представляющими собой часто встречающуюся в гипергенных образованиях слабо окристаллизованную субстанцию. Морфологические особенности заварицкита в изученных образцах не позволяют однозначно оценить время его образования, однако не противоречат предположению о более позднем формировании относительно самородного висмута и более раннем относительно оксидов висмута.

Источником висмута для образования заварицкита могли служить более ранние сульфиды и самородный висмут, в то время как источник фтора не ясен. В непосредственной близости с заварицкитом фтористые минералы не обнаружены. Единственный минерал фтора, известный на месторождении, – флюорит – встречается в виде

безрудных тонких жил, секущих известняки, отнесенных к завершающей стадии гипогенного минералообразования (Протодьяконова, 1972). Слабая степень гипергенных преобразований образцов руд, в которых найден заварицкит, и отсутствие в них минералов фтора указывает, скорее, на его позднее гипогенное происхождение с последующим замещением как заварицкита, так и других минералов висмута, аморфным агрегатом оксидов висмута.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заварицкит впервые обнаружен в сульфидно-магнетитовых рудах скарнового месторождения Акташ. Эта находка первая не только для месторождения, но и для всей висмутоносной Кураминской подзоны Чаткало-Кураминской зоны. Заварицкит встречается как редкий минерал в сульфидно-магнетитовых рудах и тесно ассоциирует с самородным висмутом, галенитом и халькопиритом, а также гипергенными оксидами висмута и англезитом. Соответствие структуры изученного минерала заварицкиту подтверждено методом дифракции обратно рассеянных электронов.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № АААА-А19-119061790049-3. Авторы благодарны профессору чл.-корр. В.В. Масленникову за консультации и руководство темой исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.И., Марин Ю.Б.* Состав и эволюция аксессуарной минерализации литий-фтористых гранитов Дальнего Востока как индикаторы их рудоносности // ЗРМО. **2014.** № 6. С. 1–16.
- Бадалов С.Т.* Геохимические особенности рудообразующих систем. Ташкент: Изд. Фан, **1991.** 144 с.
- Волошин А.В., Пахомовский Я.А.* Минералы и эволюция минералообразования в амазонитовых перматитах Кольского полуострова. Л.: Наука, **1986.** 168 с.
- Вольфсон Ф.И.* Структура и генезис свинцово-цинковых месторождений Западного Карамазара. М.: Изд. АН СССР, **1951.** 245 с.
- Вольфсон Ф.И., Титов В.Н.* Основные особенности геологического строения Кансайского рудного поля / Геология свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля. М.: Наука, **1965.** С. 21–29.
- Доломанова Е.И., Сендерова В.М., Янченко М.Т.* Заварицкит (BiOF) – новый минерал из группы оксифторидов // ДАН СССР. **1962.** Т. 146. № 3. С. 680–682.
- Дунин-Барковская Э.А., Юсупов Р.Г.* Типоморфизм минеральных парагенезисов самородного висмута в породах и месторождениях Средней Азии // Изв. АН СССР. **1974.** № 9. С. 73–82.
- Дунин-Барковская Э.А., Юсупов Р.Г.* Геохимия висмута в интрузивных породах Кураминских гор Средней Азии // Геохимия. **1976.** № 3. С. 135–147.
- Дунин-Барковская Э.А.* Геохимия и минералогия висмута (Чаткало-Кураминские горы). Ташкент: Фан, **1978.** 272 с.
- Иващенко В.И., Голубев А.И.* Новые аспекты минералогии и металлогении Питкярантского рудного района // Труды Карельского научного центра РАН. Сер.: Геология докембрия. **2015.** № 7. С. 127–148.
- Иващенко В.И., Валкама М., Сундبلاد К., Голубев А.И., Алексеев В.Ю.* Новые данные по минералогии и металлогении скарнов Питкярантского рудного района // Докл. РАН. **2011.** Т. 440. № 2. С. 229–233.
- Протодьяконова З.М.* Минералогия месторождений / Геология и минеральные комплексы Западного Карамазара. М.: Недра, **1972.** 147–148.
- Рахимов Ш.Х.* Геолого-структурные условия локализации скарново-полиметаллических месторождений Карамазар. Ташкент: Фан, **1978.** 142 с.
- Сидоров В.А., Волков А.В., Вольфсон А.А., Сидоров А.А.* Золото-висмут-теллуридное оруденение в гранит-порфировом штоке Контактный (Северо-восток России) // Докл. РАН. **2007.** Т. 416. № 6. С. 789–793.
- Ятимов У.А., Аюпова Н.Р., Блинов И.А., Котляров В.А.* Висмутовые минералы сульфидно-магнетитовых руд месторождения Акташ (Западный Карамазар, Таджикистан) // Минералогия. **2019.** Т. 5. № 4. С. 39–51.
- Ятимов У.А., Сафаралиев Н.С., Котляров В.А.* Пирофанит из скарново-сульфидно-магнетитовых руд месторождения Акташ (Западный Карамазар) / Уральская минералогическая школа. Екатеринбург: Альфа Принт, **2020.** С. 138–140.

Zavaritskite From Sulfide-Magnetite Ores of the Aktash Skarn Deposit (Western Karamazar)**U. A. Yatimov^{a, b, *}, E. V. Belogub^a, V. V. Shilovskikh^c, and I. A. Blinov^a**^a*South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy; Ilmeny Reserve, Miass, Chelyabinsk region, Russia*^b*South Urals State University, Chelyabinsk, Russia*^c*Geomodel Resource Center, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

*e-mail: umed1990@list.ru

The rare mineral zavaritskite has been detected in sulfide-magnetite ores of the Aktash skarn deposit (North Tadjikistan) and studied by complex of optical and scanning electron microscopy and backscattered electron diffraction analyses. Zavaritskite occurs in association with native bismuth, chalcopyrite, galena, and supergene bismuth oxides and anglesite. It is the first find of zavaritskite not only in the Aktash deposit, but in the entire bismuth-bearing Kuraminskaya subzone of the Chatkal-Kuraminskaya metallogenic zone.

Keywords: zavaritskite, bismuth minerals, sulfide-magnetite ores, skarns, Aktash deposit, Western Karamazar

REFERENCES

- Alekseev V.I., Marin Yu.B.* Composition and evolution of accessory mineralization of Li–F granites in the Far East as indicators of their ore potential. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2014**. N 6. P. 1–16 (in Russian, English translation: *Geol. Ore Deposits*. **2015**. Vol. 57. N 8. P. 635–644).
- Auer C.* Die Mineralien der Wolfsgrube bei Seizim Liesingtal. *Der Steirische Miner.* **2019**. Vol. 34. P. 5–11.
- Badalov S.T.* Geochemical features of ore forming systems. Tashkent: Fan, **1991**. 144 p. (in Russian).
- Dolomanova E.I., Senderova V.M., Yanchenko M.T.* Zavaritskite (BiOF) – a new mineral from the group of oxyfluorides. *Dokl. USSR Acad. Sci.* **1962**. Vol. 146. N 3. P. 680–682 (in Russian).
- Dunin-Barkovskaya E.A., Yusupov R.G.* Typomorphism of mineral parageneses of native bismuth in rocks and deposits of Central Asia. *Proc. USSR Acad. Sci.* **1974**. N 9. P. 73–82 (in Russian).
- Dunin-Barkovskaya E.A., Yusupov R.G.* Geochemistry of bismuth in intrusive rocks of the Kurama mountains of Central Asia. *Geochemistry*. **1976**. N 3. P. 135–147 (in Russian).
- Dunin-Barkovskaya E.A.* Geochemistry and mineralogy of bismuth (Chatkal and Kurama mountains). Tashkent: Fan, **1978**. 272 p. (in Russian).
- Ferretti P., Camin C., Fassina B., Gentile P., Rocchetti I., Vecchi F.* Miniera Tingherla (Frassilongo, Valle del Fersina). Aggiornamento di una località classica della mineralogia trentina. *Rivista Mineralogica Italiana*. **2018**. Vol. 42. N 2. P. 108–141.
- Ivaschenko V.I., Valkama M., Sundblad K., Golubev A.I., Alekseev V.Yu.* New data on mineralogy and metallogeny of skarns of the Pitkyaranta ore region. *Dokl. Earth Sci.* **2011**. Vol. 440. N 1. P. 1307–1316.
- Ivaschenko V.I., Golubev A.I.* New aspects of mineralogy and metallogeny of the Pitkyaranta ore region. *Proc. Karelian SC Russ. Acad. Sci. Series: Precambrian Geology*. **2015**. N 7. P. 127–148 (in Russian).
- Kolitsch U., Rieck B., Voudouris P.* Mineralogy and genesis of the Lavrion ore deposit: new insights from the study of ore and accessory minerals. In: *Mitt. Österr. Mineral. Ges. Austria: MinPet*, **2015**. N 161. P. 66.
- Miles N.M., Hogarth D.D., Russell D.S.* Wakefieldite, yttrium vanadate, a new mineral from Quebec. *Amer. Miner.* **1971**. Vol. 56. P. 395–410.
- Moura A., Dória A., Neiva A.M.R., Gomes C.L., Creaser R.A.* Metallogenesis at the Carris W–Mo–Sn deposit (Gerês, Portugal): constraints from fluid inclusions, mineral geochemistry, Re–Os and He–Ar isotopes. *Ore Geology Reviews*. **2014**. Vol. 56. P. 73–93.
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V., Vávřin I., Skála R., Sejkora J., Drábek M.* Primary minerals of the Jáchymov ore district. *J. Czech Geol. Soc.* **2003**. Vol. 48. P. 19–147.
- Protodyakonova Z.M.* Mineralogy of deposits. In: *Geology and mineral complexes of Western Karamazar*. Moscow: Nedra, **1972**. 147–148 (in Russian).
- Rakhimov Sh.Kh.* Geological and structural conditions of localization of skarn-polymetallic deposits of the Karamazar. Tashkent: Fan, **1978**. 142 p. (in Russian).
- Rankin J., Lawrence L.J., Sharpe J.L., Williams P.A.* Rare secondary bismuth, tungsten and molybdenum minerals from Elsmore, New England district of New South Wales. *Australian J. Miner.* **2002**. Vol. 8. N 1. P. 55–60.

Rewitzer C., Calvo M., Hochleitner R., Utrera C. Adamite, austinite, schlegelite, dugganite and other uncommon minerals in the “Cogolla Alta” claim, Belalcázar, Córdoba, Spain. *Miner. Up.* **2018**. Vol. 5. N 2. P. 50–77.

Sejkora J., Ondruš P., Fikar M., Veselovský F., Mach Z., Gabašová A., Skoda R., Beran P. Supergene minerals at the Huber stock and Schnöd stock deposits, Krásno ore District, the Slavkovský les area, Czech Republic. *J. Czech Geol. Soc.* **2006**. Vol. 51. P. 57–101.

Sidorov V.A., Volkov A.V., Vol'fson A.A., Sidorov A.A. Gold-bismuth-telluride mineralization in a granite-porphry stock Kontaktovy (North-East of Russia). *Dokl. Earth Sci.* **2007**. Vol. 417. N 1. P. 1164–1168.

Vol'fson F.I. The structure and genesis of lead-zinc deposits of Western Karamazar. Moscow: USSR Acad. Sci., **1951**. 245 p. (*in Russian*).

Vol'fson F.I., Titov V.N. Main features of geological structure of the Kansai ore field. In: *Geology of Pb–Zn deposits of the Kansai ore field*. Moscow: Nauka, **1965**. P. 21–29 (*in Russian*).

Voloshin A.V., Pakhomovsky Ya.A. Minerals and the evolution of mineral formation in amazonite pegmatites of the Kola Peninsula. Leningrad: Nauka, **1986**. 168 p. (*in Russian*).

Wyckoff R.W.G. Crystal Structures. Vol. 1. N.Y., London: Wiley, **1963**. 467 p.

Yatimov U.A., Ayupova N.R., Blinov I.A., Kotlyarov V.A. Bismuth minerals of sulfide-magnetite ores of the Aktash deposit (Western Karamazar, Tajikistan). *Mineralogy*. **2019**. Vol. 5. N. 4. P. 39–51 (*in Russian*).

Yatimov U.A., Safaraliev N.S., Kotlyarov V.A. Pyrophanite from skarn-sulfide-magnetite ores of the Aktash deposit (Western Karamazar). In: *The Urals miner. school*. Yekaterinburg: Alfa Print, **2020**. P. 138–140 (*in Russian*).