

УДК 549.755.31:543.5

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ АРСЕНАТАХ ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА ШЕРЛОВОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Р.А. Филенко¹, Г.А. Юргенсон¹, О.К. Смирнова²

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита

² Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

Представлены результаты исследования минералогии зоны окисления в пределах Шерловогорской рудноформационной системы, включающей бериллий-висмут-олово-вольфрамовое в грейзенах и олово-полиметаллическое месторождения. Впервые опубликованы термограммы, дифрактограммы, данные ИК-спектроскопии и электронной микроскопии ряда арсенатов, таких как клиноклаз, сегнитит, Y-агардит, цинколиверит, фармакосидерит, метацейнерит, бетпакладит. Даны их локации, краткие описания и обсуждены данные инструментальных исследований.

Ключевые слова: Шерловогорский рудный район, рудномагматическая система, арсенаты, клиноклаз, Y-агардит, скородит, адамин, гипергенез, минералы.

Введение

Шерловогорский рудный район находится на юго-востоке Забайкальского края в 24 км к северо-западу от города Борзя (рис. 1). Шерловогор-

ская рудно-магматическая система, находящаяся в пределах данного района – это уникальный геологический объект, сочетающий в себе крупные месторождения ювелирных камней, цветных и редких металлов [Юргенсон, 2006].

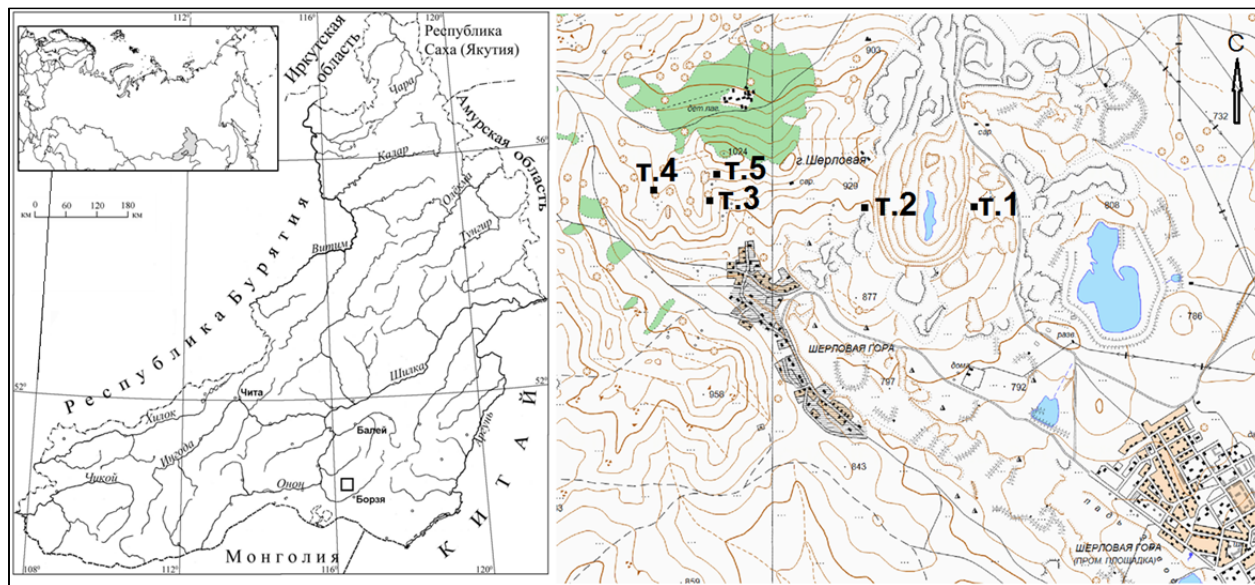


Рис. 1. Географическое положение Шерловогорского рудного района
(т. 1–т. 5 – места отбора проб, см. текст)

Fig. 1. Geographical location of Sherlovogorsk ore area. (т. 1–т. 5 – sampling sites, see text)

Согласно современным представлениям, месторождения, пространственно и генетически

связанные с Шерловогорской рудно-магматической системой, расположены на со-

членении краевой части Агинского жесткого массива, сложенного палеозойским вулканогенно-осадочно-метаморфическим комплексом, с мезозойскими отложениями Харанорской впадины [Онтеев, 1974; Гайворонский, 1995]. Шерловогорский гранитный массив кукульбейского комплекса юрского возраста, являющийся основой одноименной рудномагматической системы, приурочен к границе Агинской геоструктурной зоны и Аргунского срединного массива, контролируемой Шерловогорским разломом. Вмещающие породы представлены ниже-каменноугольной метаморфизованной песчаниково-сланцевой толщей, содержащей прослои эффузивов и известняков с фауной турне-визейского возраста. В ней находятся также интрузивы габбро-диоритов и диоритов, плагиогранитов и гранитов герцинского этапа [Yurgenson, Kononov, 2014].

Образование месторождения происходило в четыре стадии: грейзеновую, кварц-касситерит-турмалиновую, сульфидно-касситерит-хлоритовую и карбонат-галенит-сфалеритовую [Онтеев, 1974].

Разнообразный состав гипогенных минералов с высоким содержанием в них сульфидов и сульфоарсенидов обусловил в зоне гипергенеза образование широкого набора видообразующих компонентов гипергенных минералов. Так, в зоне окисления оловорудного карьера за счет преобразования минералов первичных руд (арсенопирит, галенит, пирит, халькопирит, сфалерит, пирротин и др.) сформировалась ассоциация катионов халькофильных и сидерофильных элементов, с которыми арсенатный анион $(AsO_4)^{-3}$ образует гипергенные соединения [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014].

Минералогия зоны окисления Шерловогорского рудного района изучалась многими исследователями на разных этапах его освоения и консервации [Ненадкевич, 1922; Доломанова, 1963; Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014; Yurgenson, Kononov, 2014]. Последняя сводка была сделана в 2014 г. в Минералогическом альманахе [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014], посвященном Шерловой Горе. В нем авторами проведено тщательное лабораторное изучение собранных образцов с применением электронно-зондового метода, монокристалльной и порошковой рентгенографии, инфракрасной и мессбауэровской спектроскопии. Исследования

этих авторов показали, что в зоне окисления Шерловогорского месторождения развита очень богатая и разнообразная по катионному составу (Pb, Fe, Cu и др.) арсенатная минерализация, источником вещества для формирования которой являются первичные минералы, широко распространенные на месторождении. Прежде всего, это сульфиды – арсенопирит, галенит, пирит, халькопирит. Среди гипергенных арсенатов наиболее распространен скородит. В последнее время в ассоциации с ним установлен рузвельтит [Солодухина, Юргенсон, 2018]. Он является висмутовым аналогом скородита и распространен преимущественно в зоне окисления бериллий-висмут-олово-вольфрамового месторождения, локализованного в апогранитных грейзенах. Кроме того, известны были филлипсборнит, карминит, дуфтит и другие сложные арсенаты [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014]. В списке, составленном исследователями по собственным данным, персональным сообщениям коллег и опубликованным в литературе сведениям, из 200 минеральных видов около половины (109) – это гипергенные минералы, но, как жалеют авторы, для 53 из них в литературе либо отсутствуют аналитические данные, либо их недостаточно для того, чтобы считать диагностику указанных минералов окончательной [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014]. Это же касается и арсенатов. Полученные новые результаты в ходе минералого-геохимических исследований Шерловогорского рудного района несколько восполняют этот пробел и уточняют выводы, сделанные нами ранее [Филенко и др., 2018].

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили образцы, отобранные в период 2010–2016 гг. при выполнении НИР лаборатории геохимии и рудогенеза ИПРЭК СО РАН на территории Шерловогорского рудного района. В общей сложности отобрано около 200 образцов горных пород и руд с гипергенной и гипогенной минерализацией. Мономинеральные фракции готовились из протокочек или соскабливались с поверхности образцов. Затем производилась их ручная доочистка под бинокуляром МБС-2. Для дальнейших анализов навески минералов истирались в яшмовой ступке.

Образцы исследованы методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре

D8 Advance (Bruker AXS, Германия) с радиусом гониометра 250 мм. Условия измерения: излучение – $\text{CuK}\alpha$, $V = 40$ кВ, $I = 40$ мА, зеркало Гёбеля, щели Соллера – 2,5 мм, сцинтилляционный счетчик, угловой диапазон: $3\text{--}65^\circ(2\theta)$, шаг сканирования – $0,02^\circ$, экспозиция – 1 с/шаг. Фазовый состав образцов расшифрован с помощью программы EVA (Diffrac^{plus}, PDF-2, 2007 г.). Съемка некоторых образцов проводилась на дифрактометре ДРОН-3.0 в Центре коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН. Условия измерения: излучение – $\text{CuK}\alpha$, Ni – фильтр, $V = 25$ кВ, $I = 20$ мА, в диапазоне $3\text{--}65^\circ(2\theta)$, шаг сканирования – $0,05^\circ$, аналитик Д.С. Суворова.

При изучении порошковых препаратов гипергенных минералов применялся сканирующий электронный микроскоп LEO 1430VP (CarlZeiss, Германия) с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (Oxford Instruments Analytical Ltd.) в ГИН СО РАН. Условия съемки – ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 0,3–0,4 нА, размер зонда < 0,1 мкм, время измерения 50 с (живое время). Ошибка анализа на сумму достигает 2–4 мас. % в зависимости от качества поверхности образца и особенностей его состава (аналитик Е.А. Хромова).

Инфракрасные спектры регистрировались в лаборатории ЗаБГУ на спектрофотометре FTIR-

8400S SHIMADZU, который регистрирует инфракрасные спектры пропускания исследуемых проб в диапазоне волновых чисел $4\,000\text{--}400\text{ см}^{-1}$, в таблетках KBr, оператор Д.А. Пузынин.

Синхронный термический анализ проводился на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH (Германия) в ИПРЭК СО РАН. Использовались платиновые тигли. Скорость нагрева во всех измерениях составляла $10^\circ\text{C}/\text{мин}$. Масса исследуемых навесок – 10–20 мг.

Результаты и их обсуждение

В образце (№ ШГ-15-13-1) окисленной руды, отобранном из отвалов в восточной части оловорудного карьера (GPS $N50^\circ32'47,98''$ $E116^\circ16'24,61''$, т. 1, рис. 1) были обнаружены прожилки толщиной до 5 мм, сложенные минералом бирюзово-синего цвета. Ранее нами были найдены подобные образцы в отвалах выветрелых вскрышных пород на южной дамбе хвостохранилища Шерловогорского ГОКа. Тогда визуально этот минерал был ошибочно принят за смесь азурита и малахита. Но позднее выяснилось, что в этих образцах наблюдается не карбонатная, а арсенатная минеральная ассоциация.

Рентгеноструктурным анализом исследуемого образца (рис. 2) был диагностирован редкий арсенат меди – *клиноклаз* $\text{Cu}_3[\text{AsO}_4](\text{OH})_3$.

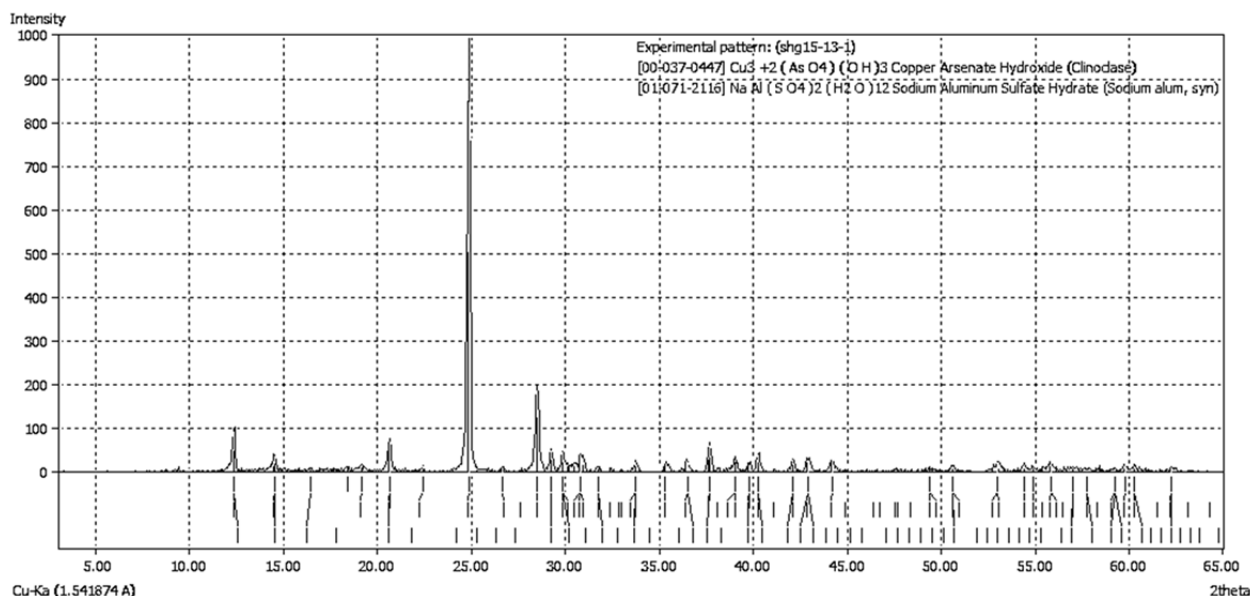


Рис. 2. Дифрактограмма клиноклаза, образец № ШГ-15-13-1

Fig. 2. The X-ray diffractogram of the clinoclase, sample № ShG-15-13-1

Основные линии на дифрактограмме (d/n , [Å]): 3,59; 3,14; 4,32; 2,91; 2,89; 2,39. Рассчитанные параметры элементарной ячейки клиноклаза с моноклинной сингонией: $a = 12,395(1)$, $b = 6,460(1)$, $c = 7,269(1)$ Å, $\beta = 99,54(1)^\circ$, $V = 573,99(3)$ Å³. Как примесь, возможно, присутствуют натриевые квасцы. Ранее клиноклаз был предположительно диагностирован известным российским минералогом В.И. Степановым (персональное сообщение) [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014] в образцах с

Южного отвала оловорудного карьера, но эта находка не подтверждена какими-либо опубликованными аналитическими данными.

Методами электронной растровой микроскопии и электронно-зондового микроанализа также был подтвержден химический состав клиноклаза, близкий к стехиометрическому (%): CuO – 62,7; As₂O₅ – 30,2. Изоморфные примеси не выявлены. Имеется слабое загрязнение SiO₂ до 1% (рис. 3).

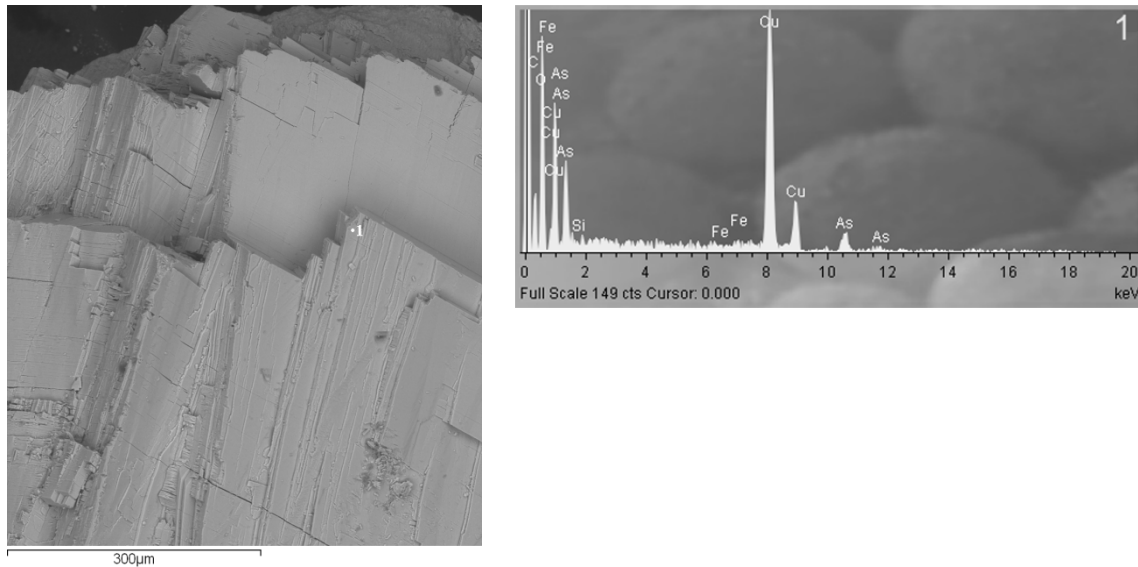


Рис. 3. Поверхность спайности клиноклаза и спектр элементов в точке 1. Изображение BSE, съемка в режиме VP (регулируемое давление)

Fig. 3. The cleavage surface of the clinoclase and the spectrum of elements at point 1. Image BSE, shooting in VP (variable pressure) mode

Минерал был также изучен методами ИК-спектроскопии и термического анализа для получения данных о содержании воды. Результаты подтвердили принадлежность минерала основному арсенату меди – клиноклазу. ИК-спектр очень хорошо сопоставим с опубликованными спектрами [Электронный... 2018]. Четко видны полосы воды в интервале 3 600–3 200 см⁻¹. Основные волновые числа максимумов полос в ИК-спектре: 3 555, 3 343, 2 218, 1 115, 1 082, 986, 862, 833, 777, 617, 549, 523, 459 см⁻¹.

На термограмме клиноклаза хорошо видны ступень дегидратации и синхронный с ней эндотермический пик с максимумом при 440°C (рис. 4). В сумме потеря массы при дегидратации составила около 7%, что сопоставимо с идеальным теоретическим составом. При

дальнейшем нагревании следует четкий экзотермический пик при 600°C, связанный с кристаллизацией безводного арсената меди. При более высоких температурах наблюдается еще одна ступень потери массы, связанная с разложением медного арсената. По перегибу на кривой ДСК видно, что это разложение также происходит поэтапно и продолжается при температуре выше 1 000°C. Кривая ДТГ аналогично показывает, что разложение арсената меди в конце измерения не завершилось, так как скорость потери массы не равна нулю. Остаточная масса (86,2%) также далека от рассчитанного теоретического значения (62,7%).

Летом 2014 г. были обследованы отвалы (GPS N50°32'51,07" E116°15'45,25", т. 2, рис. 1) у юго-западного борта карьера оловополиме-

таллического месторождения, где благодаря физическому выветриванию вскрышных горных пород широко представлена арсенатная минерализация. Визуально скопления арсенатов легко обнаружить по зеленым, реже бурым прожилкам, коркам и щеткам по поверхности

или в полостях при раскалывании вмещающих их горных пород. Здесь нами выявлены как довольно распространенные *Y-агардит* $(Y,Ca)Cu_6[AsO_4]_3(OH)_6 \cdot 3H_2O$, *сегнитит* $PbFe_3[AsO_4]_2(OH)_5(H_2O)$, так и весьма редкий *цинколиверит* $CuZn[AsO_4](OH)$ (рис. 5).

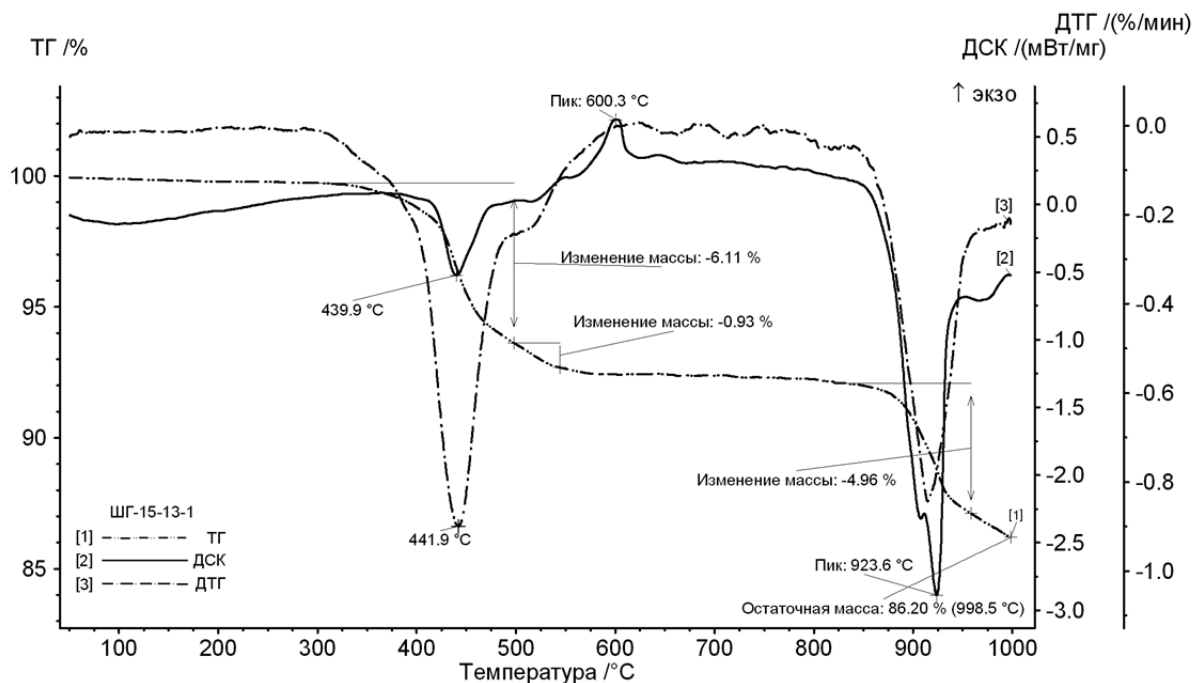


Рис. 4. Термограмма клиноклаза, образец № ШГ-15-13-1

Fig. 4. Thermogram of the clinoclase, sample № ShG-15-13-1

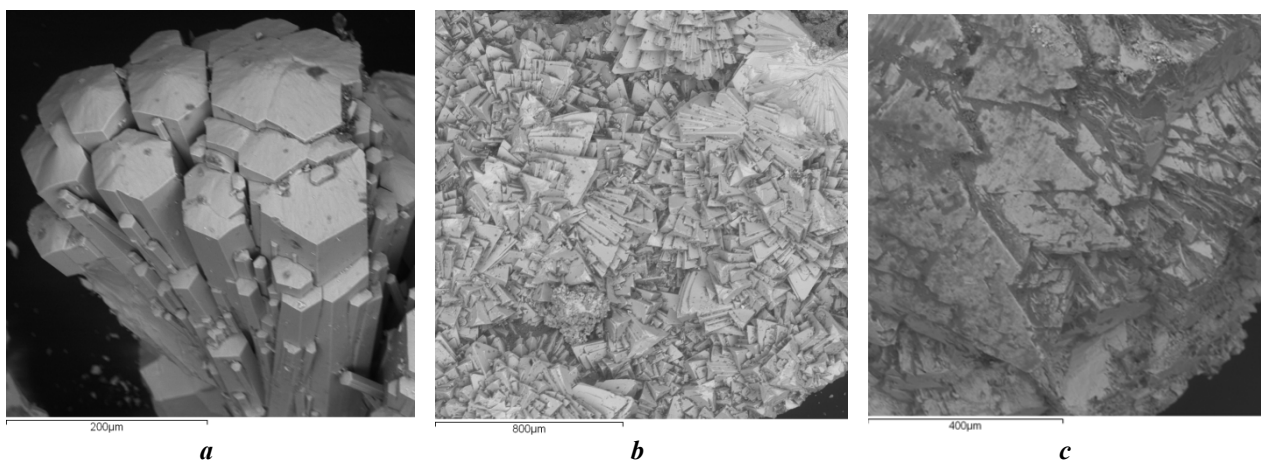


Рис. 5. Агрегаты кристаллов *Y-агардита* (a), *сегнитита* (b), *цинколиверита* (c).
Съемка в режиме VP (регулируемое давление)

Fig. 5. Aggregates of crystals of *Y-agardite* (a), *segnitite* (b), *zincolivenite* (c).
Image BSE, shooting in VP (variable pressure) mode

Последний первоначально был диагностирован рентгеноструктурным анализом как *адамит* $\text{Zn}_2[\text{AsO}_4](\text{OH})$ из-за близости линий и параметров элементарной ячейки этих минералов, на что указывали авторы [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014]. Цинколиверит образует сферолитовые радиально-лучистые агрегаты размером 1–4 мм. Ассоциирует с агардитом, коронадитом, гетитом, реже клиноклазом. Данные микрозондового анализа показали, что отношения $\text{Zn}:\text{Cu}$ меняются от 1 до 0,2. Параметры элементарной ячейки: $a = 8,409(2)$; $b = 8,508(2)$; $c = 6,036(1)\text{Å}$; $V = 431,8(3)\text{Å}^3$. Основные волновые числа максимумов полос на ИК-спектре: 3 471, 1 610, 1 067, 1 043, 854, 785, 534, 451 см^{-1} . На некоторых спектрах, изученных нами образцов, в диапазоне 1 500–1 700 см^{-1} полосы поглощения воды отсутствуют, на что указывают и другие исследования цинколиверита [Chukanov et al., 2007].

Термограммы монофракций цинколиверита в целом сходны с опубликованными ранее [Иванова и др., 1974]. До температуры 550°C

минерал термостабилен (рис. 6). При температуре около 580°C зафиксирована максимальная скорость выхода гидроксильной воды, общее количество которой в исследуемом образце, согласно ТГ-кривой, близко к теоретическому содержанию в адамите – 3,14%. При дальнейшем повышении температуры и уменьшении скорости потери массы до нулевых значений (ДТГ-сигнал), на кривой ДСК наблюдается небольшой экзотермический пик при 637°C, свидетельствующий о кристаллизации безводного арсената цинка и меди. Нагрев пробы цинколиверита до более высокой температуры не проводился, так как предварительные испытания показали, что происходит расплавление вещества и есть опасность загрязнения не только тигля, но и держателя образцов.

В образцах из берилл-кварц-топазовой жилы с арсенопиритом и продуктами его окисления в районе копи Новикова (GPS N50°33'05,80" E116°14'39,70", т. 5, рис. 1) исследован образец (обр.ШГ-16-ЖМ) шестоватых и гроздевидных агрегатов желто-зеленого цвета (рис. 7).

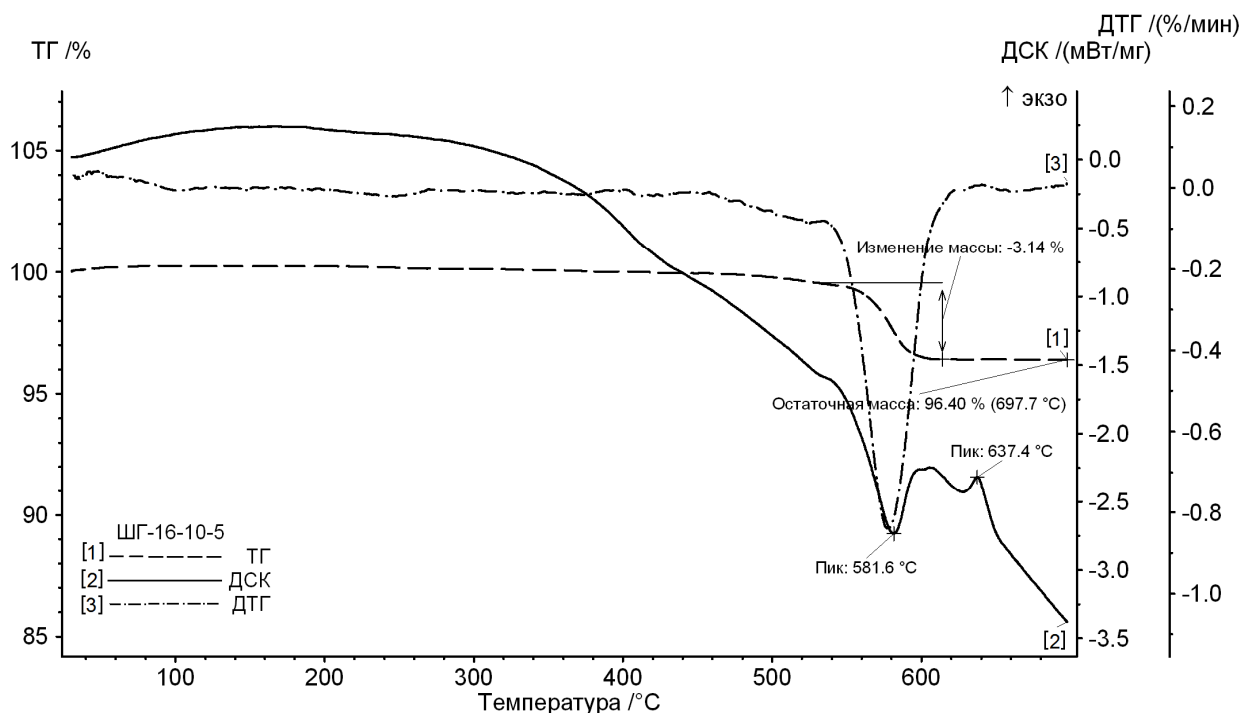


Рис. 6. Термограмма цинколиверита, образец № ШГ-16-10-5

Fig. 6. Thermogram of the zincolivenite, sample № ShG-16-10-5

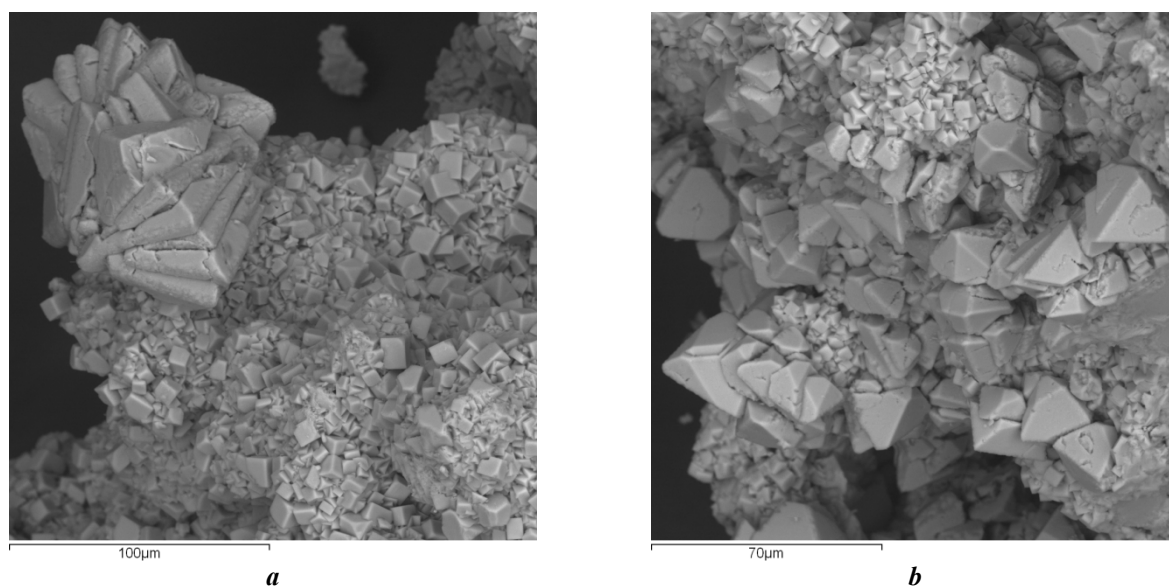


Рис. 7. Агрегаты кубических (а) и преимущественно октаэдрических (b) кристаллов фармакосидерита. Изображение BSE, съемка в режиме VP (регулируемое давление)

Fig. 7. Aggregates of cubic (a) and predominantly octahedral (b) crystals of the pharmacosiderite. Image BSE, shooting in VP (variable pressure) mode

Рентгеноструктурным анализом определено, что основной фазой является *фармакосидерит* $\text{KFe}_4[\text{AsO}_4]_3(\text{OH})_4 \cdot 6\text{--}7\text{H}_2\text{O}$ в ассоциации со скородитом, гетитом и ярозитом. Микронзондовый анализ подтвердил состав фармакосидерита, выявив в составе основных катионов только калий и железо.

Термический анализ показал, что общее содержание воды в минерале близко к теоретическому (около 16%). На начальном этапе нагревания наблюдается плавная потеря кристаллизационной воды, которая полностью завершается при 240°C (рис. 8). Далее в интервале температур $350\text{--}500^\circ\text{C}$ наблюдается выход гидроксильной воды. Интенсивный экзотермический пик указывает на кристаллизацию фаз безводных арсенатов вследствие выхода кристаллизационной и гидроксильной воды из структуры фармакосидерита.

Нахождение фармакосидерита в числе минералов зоны окисления месторождений Шерловой Горы упоминается многими исследователями, но авторами последней сводки [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014] указывается, что это не подтверждено достоверными аналитическими данными.

Еще одними изначально ошибочно определенными минералами для зоны окисления

Шерловгорского рудного района являются *метацейнерит* и *бетпакдалит*, принимавшиеся ранее за торбернит и ферримолибдит соответственно.

Образцы *метацейнерита* $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ отобраны на участке Мелехинская Сопка из отвалов новой выработки местных старателей (GPS $\text{N}50^\circ32'54,45''$ $\text{E}116^\circ14'36,83''$, т. 3, рис. 1). Минерализация приурочена к телу кварц-топазового грейзена с ферберитом, чаще в ассоциации со светло-зеленым флюоритом и голубоватым топазом. Метацейнерит образует на обохренной поверхности трещин слюдоподобные тонкочешуйчатые квадратные агрегаты светло-зеленого до изумрудного цвета размером до 10 мм. Термический анализ показал близкую к расчетной потерю массы при дегидратации: 13,48% фактическая потеря против 14,05% теоретической. ДСК-кривая в общих чертах сопоставима с опубликованной [Амбарцумян и др., 1961] кривой ДТА метацейнерита (рис. 9).

В интервале температур $40\text{--}200^\circ\text{C}$ наблюдаются три эндотермических прогиба с максимумами при 117 , 146 и 183°C . Исследования показали, что одна молекула воды удаляется уже при $20\text{--}50^\circ\text{C}$, две молекулы – при $50\text{--}75^\circ\text{C}$, еще

две – при 75–100°C и 2,5 молекулы при 100–200°C. Оставшиеся 0,5 молекулы воды удаляются постепенно в температурном интервале

200–500°C. Отмечено, что первые три молекулы имеют цеолитовый характер [Амбарцумян и др., 1961].

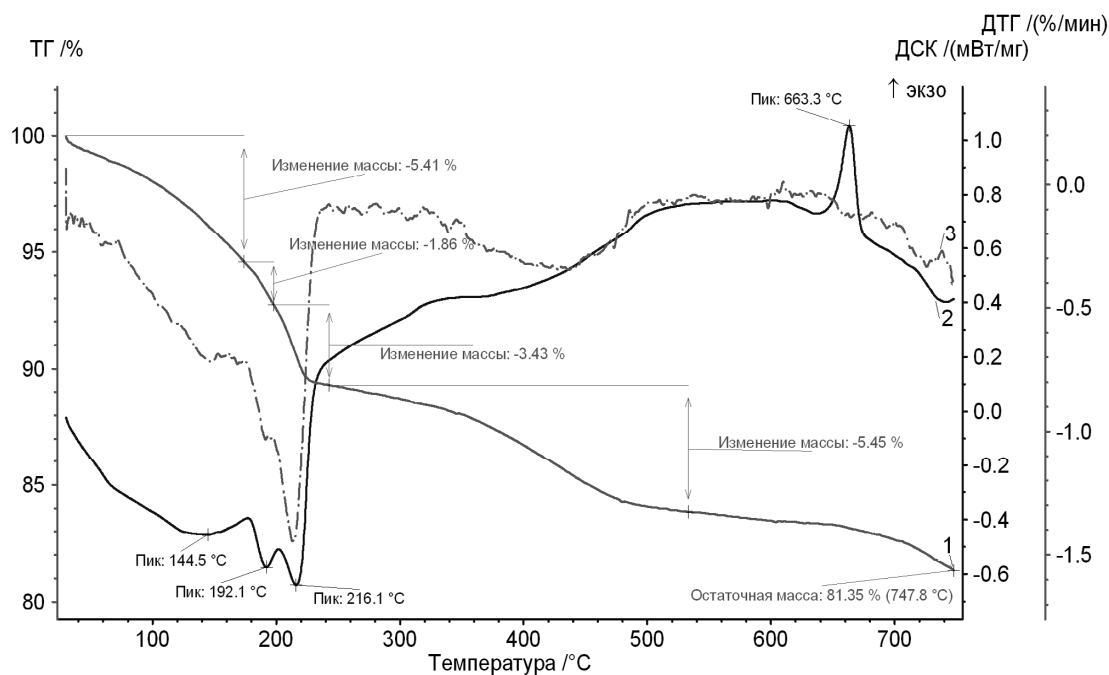


Рис. 8. Термограмма фармакосидерита: ТГ (1), ДСК (2), ДТГ (3) кривые

Fig. 8. Thermogram of the pharmacosiderite: TG (1), DSC (2), DTG (3) curves

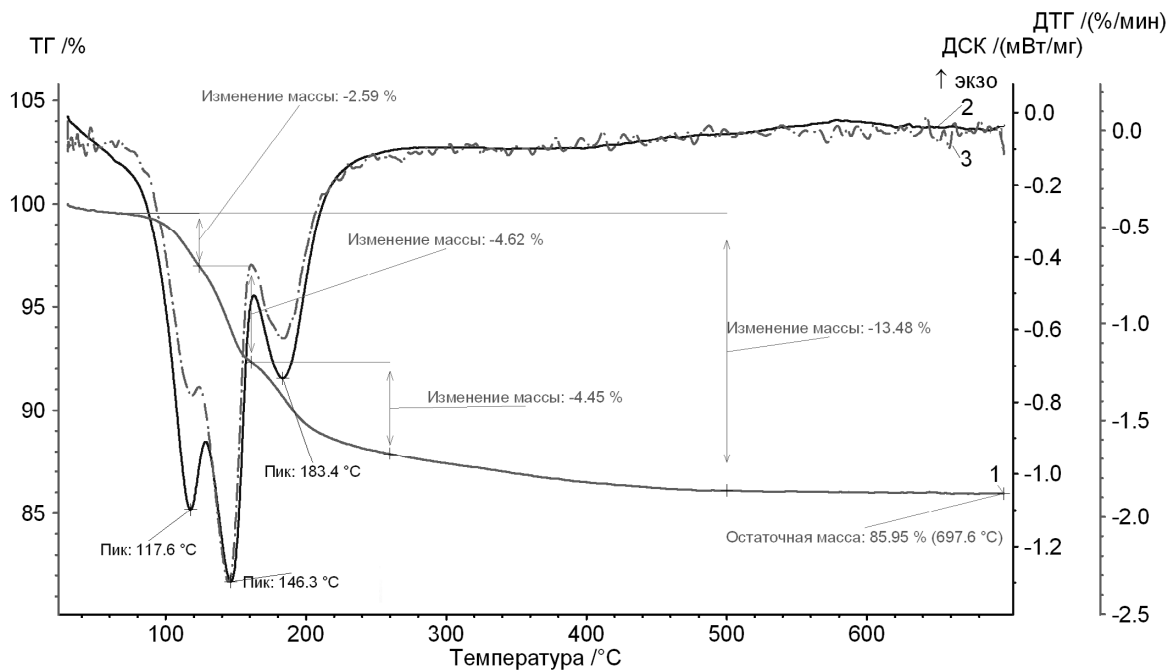


Рис. 9. Термограмма метацейнерита: ТГ (1), ДСК (2), ДТГ (3) кривые

Fig. 9. Thermogram of the metazeunerite: TG (1), DSC (2), DTG (3) curves

ИК-спектр исследуемого метациейнерита показал хорошую сопоставимость с опубликованным спектром цейнерита [Болдырев, 1976]. На спектре четко видны полосы пропускания с максимумами 1 647, 2 935, 3 302 см^{-1} , обусловленными валентными колебаниями различно связанной воды в структуре минерала. Остальные волновые числа максимумов полос на ИК-спектре: 1 030, 937, 812, 690, 468 см^{-1} .

Бетпакдалит на Шерловой Горе развит преимущественно на участке Поднебесных (GPS N50°33'05,60" E116°14'15,25", т. 4, рис. 1) там, где проявлена совместно арсенопиритовая и молибденитовая минерализации. Молибденит и генетически связанный с ним бетпакдалит нахо-

дятся в сером кварце кварцевого грейзена, а также в небольших его полостях. Реже бетпакдалит встречается в ассоциации с бериллом и топазом, где он заполняет микротрещины в кристаллах этих минералов. Минерал был всесторонне описан в минералогическом альманахе, посвященном Шерловой Горе [Kasatkin, Klopotov, Plášil, 2014], где на основании данных химического состава выделены два члена группы бетпакдалита – бетпакдалит-СаСа и более редкий бетпакдалит-СаМg.

Проведя термический анализ образца бетпакдалита, нам не удалось получить хорошо сопоставимую термограмму (рис. 10) с опубликованными ранее данными других исследователей [Ермилова, Сендерова, 1961].

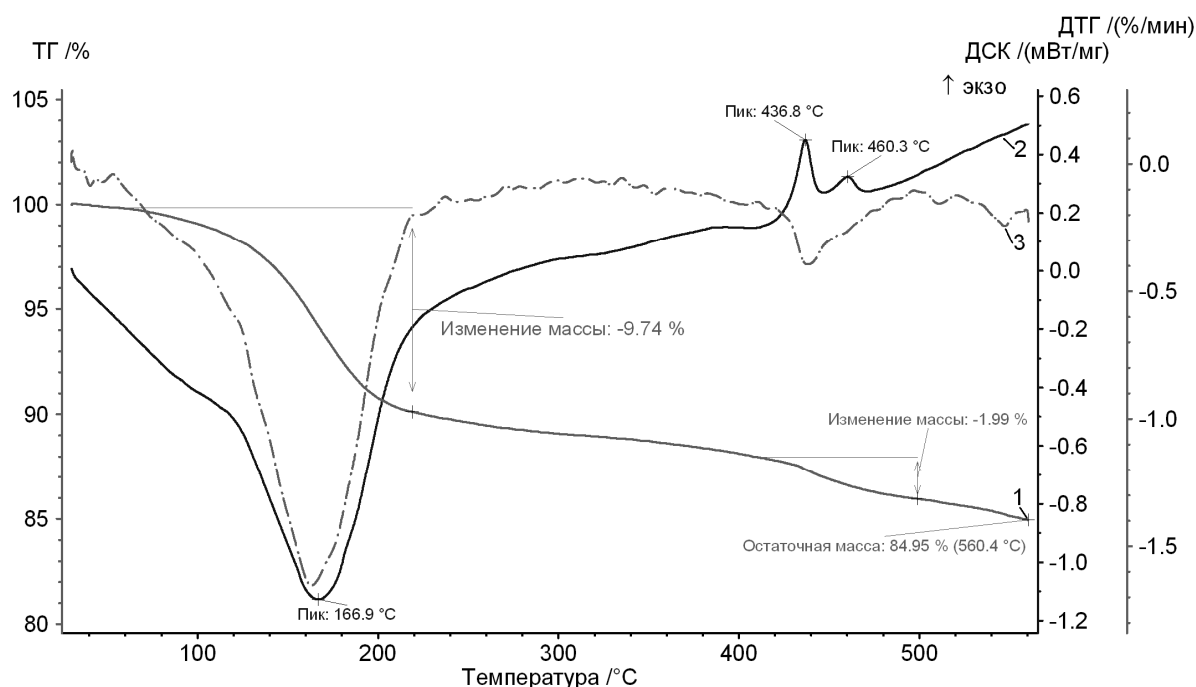


Рис. 10. Термограмма бетпакдалита: ТГ (1), ДСК (2), ДТГ (3) кривые

Fig. 10. Thermogram of the betpakdalite: TG (1), DSC (2), DTG (3) curves

Потеря массы до температуры 300°C, обусловленная дегидратацией, составила всего 10% против 19,3% теоретической. На кривой ДСК при температурах 436 и 460°C наблюдается двойной экзотермический пик, сопровождающийся потерей массы на кривой ДТГ и ТГ. Это указывает на то, что наблюдается не кристаллизация новых фаз, а идет процесс окисления первичных сульфидов, в данном случае молибденита, которым загрязнена проба. Этим, вероят-

но, и можно объяснить малую потерю массы на начальном этапе нагревания.

Выводы

1. Инструментальными методами дополнены сведения о широком развитии арсенатов в пределах зоны гипергенеза Шерловгорской рудно-магматической системы. Наряду с известным почти повсеместным присутствием скородита установлены и изучены арсенаты с пере-

менным содержанием меди – *У-агардит* $(Y,Ca)Cu_6[AsO_4]_3(OH)_6 \cdot 3H_2O$ и редкий *цинколи-вентит* $Cu,Zn[AsO_4](OH)$, а также свинца и железа *сегнитит* $PbFe_3[AsO_4]_2(OH)_5(H_2O)$.

2. Наряду с известным ранее *адамитом* $Zn_2[AsO_4](OH)$ выявлен промежуточный медистый $(Cu,Zn)[AsO_4](OH)$ член ряда *адамит* – *оливинит*, что обусловлено присутствием в первичных рудах арсенопирита, халькопирита и сфалерита.

3. Установлено также присутствие *фармако-сидерита* $KFe_4[AsO_4]_3(OH)_4 \cdot 6-7H_2O$, являюще-гося арсенатным крайним членом ряда *ярозит* – *фармакосидерит*.

4. Особенностью зоны гипергенеза Шерло-вогорской рудно-магматической системы в ее

грейзеновой части является присутствие ура-нил-арсенатной фазы, представленной *мета-цейнеритом* $Cu(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$.

Авторы выражают благодарность Е.А. Хромовой (ГИН СО РАН) и Д.С. Суворовой (ИЗК СО РАН) за качественно проведенные аналитические работы с образцами минералов.

Работы выполнены с использованием оборудо-вания Центра коллективного пользования «Аналитический центр минералого-геохи-мических и изотопных исследований» ГИН СО РАН (Улан-Удэ).

Работа выполнена при финансовой под-держке гранта РФФИ 16-05-01041а.

Литература

Амбарцумян Ц.Л., Басалова Г.И., Горжевская С.А., Назаренко Н.Г., Ходжаева Р.П. Термические исследо-вания урановых и урансодержащих минералов. М. : Госатомиздат, 1961. 148 с.

Болдырев А.И. Инфракрасные спектры минералов. М. : Недра, 1976. 199 с.

Гайворонский Б.А. Шерловогорское месторождение // Месторождения Забайкалья. М. : Геоинформмарк, 1995. Т. 1, кн. 1. С. 130–133.

Доломанова Е.И. Свинцово-цинковая минерализация на некоторых касситерито-кварцево-сульфидных место-рождениях Восточного Забайкалья // Труды ИГЕМ. 1963. Вып. 16. С. 468–504.

Ермилова Л.П., Сендерова В.М. Бетпакдалит – новый минерал из зоны окисления вольфрамитового место-рождения Караоба // ЗВМО. 1961. Т. 90, № 4. С. 425–430.

Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розинова Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. Л. : Недра, 1974. 399 с.

Ненадкевич К.А. Очерк исследований висмутовых руд Забайкалья. Чита, 1922. С. 9–18.

Онтоев Д.О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. М. : Наука, 1974. 244 с.

Солодухина М.А., Юргенсон Г.А. Мышьяк в ландшафтах Шерловогорского рудного района (Восточное За-байкалье). Чита : ЗабГУ, 2018. 176 с.

Филенко Р.А., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К., Суворова Д.С. Новые данные о минералогии зоны окисления Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование : тр. VII Всерос. симпозиума с междунар. участием и XIV Всерос. чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана / Забайкал. гос. ун-т, Ин-т природных ре-сурсов, экологии и криологии СО РАН; [отв. ред. Г.А. Юргенсон]. Чита : ЗабГУ, 2018. С. 64–70.

Электронный источник база данных спектров комбинационного рассеяния, рентгеновской дифракции и дан-ных о химическом составе минералов. URL: <http://ruff.info/clinoclase/names/asc/R070092> (дата обращения: 27.01.2018).

Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Забайкалья : учеб. пособие. Ч. I: Черные и цветные металлы. Чита : Поиск, 2006. 256 с.

Chukanov N.V., Pushcharovsky D.Y., Zubkova N.V., Pekov I.V., Pasero M., Merlino S., Möckel S., Ra-badanov M.Kh., Belakovskiy D.I. Zincolivenite $CuZn(AsO_4)(OH)$: a new adamite-group mineral with ordered distribu-tion of Cu and Zn // Doklady Earth Sciences. 2007. 415A. P. 841–845.

Kasatkin A.V., Klopotov K.I., Plášil J. Supergene Minerals of Sherlova Gora // Mineralogical Almanac, Ltd. Lake-wood, CO80227, USA. 2014. V. 19, is. 2. P. 94–139.

Yurgenson G.A., Kononov O.V. Sherlova Gora: a deposit for Gemstones and Rare Metals // Famous Mineral Local-ities of Russia: Sherlova Gora // Mineralogical Almanac, Ltd. Lakewood, CO80227, USA. 2014. V. 19, is. 2. P. 12–93.

Авторы:

Филенко Роман Андреевич, младший научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия.

E-mail: filrom@yandex.ru

Юргенсон Георгий Александрович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, лабора-тория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия.

E-mail: yurgga@mail.ru

Смирнова Ольга Константиновна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидрогеологии и геоэкологии, Геологический Институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия.

E-mail: meta@ginst.ru

R.A. Filenko¹, G.A. Yurgenson¹, O.K. Smirnova²

¹ Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

² Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

NEW DATA ON MINERALOGY OF THE OXIDATION ZONE OF THE SHERLOVOGORSKY ORE AREA (EASTERN TRANSBAIKALIA)

The Sherlovogorsk ore district is located in the South-East of the Trans-Baikal Territory, 24 km north-west of the city of Borzys. The Sherlovogorsk ore-magmatic system, located within this region, is a unique geological object that combines large deposits of gemstone, non-ferrous and rare metals. Arsenopyrite, galena, pyrite, chalcopyrite, sphalerite, pyrrhotite, bismuthinite, native bismuth, arsenic sulfosalts and other minerals are present in hypogenic ores. The diverse composition of hypogenic minerals containing arsenic led to the formation of a large number of arsenates in the hypergenesis zone. Among hypergenic arsenates, the most common is skorodit. Recently, in association with him, we established rooseveltite. It is a bismuth analog of the ferric oxide and is distributed mainly in the oxidation zone of the beryllium-bismuth-tin-tungsten deposit, which is localized in apogranite greisens. In addition, philipsbornite, carminite, duftite and other complex arsenates were known. This paper presents the results of a study of the mineralogy of the oxidation zone within the Sherlovogorsk ore-magmatic system, including the beryllium-bismuth-tin-tungsten in greisens and tin-polymetallic deposits. Thermograms, diffractograms, IR spectroscopy and electron microscopy data of a number of arsenates were first published. Their locations, brief descriptions are given, and the results of instrumental studies are discussed, which made it possible to establish almost universally widespread development of arsenates within the hypergenesis zone of the Sherlovogorsk ore-magmatic system. Along with the well-known almost ubiquitous presence of scorodite, arsenates with varying copper content – Y-agardite $(Y,Ca)Cu_6[AsO_4]_3(OH)_6 \cdot 3H_2O$ and rare zincolivenite $Cu,Zn[AsO_4](OH)$ have been established and studied. Lead and iron arsenate was detected as segnitite $PbFe_3[AsO_4]_2(OH)_5(H_2O)$. Along with the previously known $Zn_2[AsO_4](OH)$ adamite, an intermediate cuprous $(Cu,Zn)[AsO_4](OH)$ member was found adamite – olivenite. This is due to the presence in the primary ores of the paragenetic association of arsenopyrite, chalcopyrite and sphalerite. The presence of pharmacosiderite $KFe_4[AsO_4]_3(OH)_4 \cdot 6-7H_2O$, which is an arsenate extreme member of the jarosite series – pharmacosiderite, has also been established. New data were obtained for two members of the betapacdalite group – betapacdalite-CaCa and the rarer betapacdalite-CaMg. A feature of the hypergenesis zone of the Sherlovogorsk ore-magmatic system in its greisen part is the presence of the uranyl-arsenate phase, represented by $Cu(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$ metazeunerite.

Keywords: Sherlovogorsk ore region, ore-magmatic system, arsenates, klinoklaz, Y-agardite, skorodit, adamite, hypergenesis, minerals.

References

- Ambartsumyan Ts.L., Basalova G.I., Gorzhetskaya S.A., Nazarenko N.G., Khodzhaeva R.P. *Termicheskie issledovaniya uranovykh i uransoderzhashchikh mineralov* [Thermal studies of uranium and uranium-containing minerals]. Moscow : Gosatomizdat, 1961. 148 p. In Russian
- Boldyrev A.I. *Infrakrasnye spektry mineralov* [Infrared spectra of minerals]. M., «Nedra», 1976. 199 p. In Russian
- Gayvoronskiy B.A. *Sherlovogorskoe mestorozhdenie* [Sherlovogorsk ore deposit] // *Mestorozhdeniya Zabaykal'ya*. Moscow : Geoinformmark, 1995. t.1. kn. 1. pp. 130–133. In Russian
- Dolomanova E.I. *Svintsovo-tsinkovaya mineralizatsiya na nekotorykh kassiterito-kvartsevo-sul'fidnykh mestorozhdeniyakh Vostochnogo Zabaykal'ya* [Lead-zinc mineralization in some cassiterite-quartz-sulfide deposits in Eastern Transbaikalia] // *Trudy IGEM*. 1963. vyp.16. pp. 468–504. In Russian
- Ermilova L.P., Senderova V.M. *Betpakdalit – novyy mineral iz zony okisleniya vol'framitovogo mestorozhdeniya Karaoba* [Betpakdalite – a new mineral from the oxidation zone of the Karaoba wolframite deposit] // *ZVMO*. 1961. T.90. №4. pp. 425–430. In Russian
- Ivanova V.P., Kasatov B.K., Krasavina T.N., Rozinova E.L. *Termicheskij analiz mineralov i gornykh porod* [Thermal analysis of minerals and rocks]. Leningrad : Nedra, 1974. 399 p. In Russian
- Nenadkevich K.A. *Ocherk issledovaniy vismutovykh rud Zabaykal'ya* [Essay on studies of bismuth ores of Transbaikalia]. Chita, 1922. pp. 9–18. In Russian
- Ontoev D.O. *Stadiynost' mineralizatsii i zonal'nost' mestorozhdenij Zabaykal'ya* [The stadal nature of mineralization and zoning of Transbaikalia deposits]. Moscow: Nauka. 1974. 244 p. In Russian
- Solodukhina M.A., Yurgenson G.A. *Mysh'yak v landshaftakh Sherlovogorskogo rudnogo rayona (Vostochnoe Zabaykal'e)* [Arsenic in landscapes of the Sherlovogorsk ore region (Eastern Transbaikalia)]. Chita: ZabGU, 2018. 176 p. In Russian
- Filenko R.A., Yurgenson G.A., Smirnova O.K., Suvorova D.S. *Novye dannye o mineralogii zony okisleniya Sherlovogorskogo olovo-polimetallichesкого mestorozhdeniya* [New data on mineralogy of the oxidation zone of the Sherlovogorsk tin-polymetallic deposit (Eastern Transbaikalia)] // *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh terri-*

toriy. Ratsional'noe prirodopol'zovanie. Sovremennoe mineraloobrazovanie: tr. VII Vseros. simpoziuma s mezhdunar. uchastiem i XIV Vseros. chteniy pamyati akad. A.E. Fersmana / Zabaykal. gos. un-t, In-t prirodnkh resursov, ekologii i kriologii SO RAN; [otv. red. G.A. Yurgenson]. Chita : ZabGU, 2018. pp. 64–70. In Russian

Project website containing an integrated database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals / <http://rruff.info/clinoclase/names/asc/R070092>

Yurgenson G.A. *Mineral'noe syr'e Zabaykal'ya* [Mineral raw materials of Transbaikalia]: Uchebnoe posobie. Chast' I. Chernye i tsvetnye metally. Chita: Poisk, 2006. 256 p. In Russian

Chukanov N.V., Pushcharovsky D.Y., Zubkova N.V., Pekov I.V., Pasero M., Merlino S., Möckel S., Rabadanov M. Kh., Belakovskiy D.I. Zincolivenite $\text{CuZn(AsO}_4\text{)(OH)}$: a new adamite-group mineral with ordered distribution of Cu and Zn // *Doklady Earth Sciences*. 2007. 415A. pp. 841–845.

Kasatkin A.V., Klopotov K.I., Plášil J. Supergene Minerals of Sherlova Gora // *Mineralogical Almanac*, Ltd. Lakewood, CO80227, USA, 2014. V. 19. Is. 2. P. 94–139.

Yurgenson G.A., Kononov O.V. Sherlova Gora: a deposit for Gemstones and Rare Metals // *Famous Mineral Localities of Russia: Sherlova Gora* // *Mineralogical Almanac*, Ltd. Lakewood, CO80227, USA. 2014. V. 19. Is. 2. P. 12–93.

Authors:

Yurgenson Georgiy A., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Chief Researcher, Laboratory of Geochemistry and Ore Genesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, professor, Chemistry department, Transbaikalian State University, Chita, Russia.

E-mail: yurgga@mail.ru

Filenko Roman A., Junior Researcher, Laboratory of Geochemistry and Ore genesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.

E-mail: filrom@yandex.ru

Smirnova Olga K., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, Laboratory of Hydrogeology and Geoecology, Geological Institute of SB RAS, Ulan-Ude, Russia.

E-mail: meta@ginst.ru