

УДК549.766; 54.021  
DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-55-62

## БОНАТТИТ ШЕРЛОВОГОРСКОГО ОЛОВО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

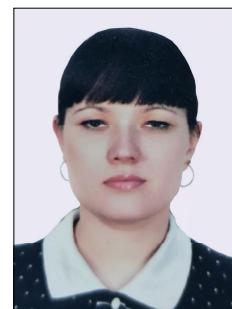
### BONATTITE OF THE SHERLOVOGORSK TIN-POLYMETALLIC DEPOSIT (TRANSBAIKAL REGION)

**Г. А. Юргенсон,**  
Институт природных ресурсов,  
экологии и криологии СО РАН,  
г. Чита  
yurgga@mail.ru



**G. Yurgenson,**  
Institute of Natural Resources,  
Ecology and Cryology SB RAS,  
Chita

**О. С. Русаль,**  
Институт природных ресурсов,  
экологии и криологии СО РАН,  
г. Чита  
sergutskaya@mail.ru



**O. Rusal,**  
Institute of Natural Resources,  
Ecology and Cryology SB RAS,  
Chita

Приведены результаты исследования редкого эфемерного в природных условиях минерала бонаттита – сульфата меди с тремя молекулами кристаллогидратной воды, найденного в продуктах окисления олово-полиметаллических руд месторождения Сопка Большая в Шерловогорском рудном районе (Забайкальский край, Россия).

Бонаттит находится в ассоциации с халькантитом, бойлеитом, старкеитом, гипсом. Они образуют корки и почковидные агрегаты на халькопирит-сфалеритовой руде в карьере. Цвет бонаттита голубой. Показатели преломления:  $n_g 1,616 \pm 0,001 - 1,617 \pm 0,003$ ,  $n_m 1,574 \pm 0,001 - 1,578 \pm 0,001$ ,  $n_p 1,551 \pm 0,003 - 1,556 \pm 0,002$ . Параметры элементарной ячейки:  $a = 5,59(1) \text{ \AA}$ ;  $b = 13,04(1) \text{ \AA}$ ;  $c = 7,36(1) \text{ \AA}$ ;  $\beta = 97,2(2)^\circ$ ;  $V = 352 \text{ \AA}^3$ . Химический состав непостоянный и зависит от примесей цинка, магния, железа. Кристаллохимические формулы  $(\text{Cu}_{0,961}\text{Zn}_{0,041}\text{Mg}_{0,006})_{1,008}(\text{SO}_4)_{0,997} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $(\text{Cu}_{0,865}\text{Zn}_{0,117}\text{Mg}_{0,011})_{0,993}(\text{SO}_4)_{1,029} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Четко обозначаются дефицит меди и магний-цинковая специализация. Содержание молекулярной воды определено термогравиметрическим методом в количестве 27,31...27,33 %. Она выходит из бонаттита при температурах 99,6...121,4 °C и в интервале 230...263,6 °C. Полосы поглощения на ИК-спектре ( $\text{cm}^{-1}$ ) 3340,82; 2428,48; 2102,48; 1680,05; 1656,91; 1107,18; 993,37; 871,85; 628,81; 572,88; 507,30

**Ключевые слова:** бонаттит; халькантит; бойлеит; олово-полиметаллическое месторождение; Сопка Большая; Шерловогорский рудный район; Забайкальский край; сульфат меди; молекулы кристаллогидратной воды; магний-цинковая специализация

The results of the study of the rare ephemeral natural mineral bonattite, copper sulfate with three molecules of crystalline hydrated water found in the oxidation products of tin-polymetallic ores of the Sopka Bolshaya deposit in the Sherlovogorsk ore district (Transbaikal region, Russia), are given.

Bonattite is contained in association with chalcalthite, boleite, starkeite, gypsum. They form crusts and reniform aggregates in chalcopyrite-sphalerite ore in the quarry. Bonattite has blue colour. Refractive indices:  $n_g 1,616 \pm 0,001 - 1,617 \pm 0,003$ ,  $n_m 1,574 \pm 0,001 - 1,578 \pm 0,001$ ,  $n_p 1,551 \pm 0,003 - 1,556 \pm 0,002$ . Unit cell parameters are the following:  $a = 5,59(1) \text{ \AA}$ ;  $b = 13,04(1) \text{ \AA}$ ;  $c = 7,36(1) \text{ \AA}$ ;  $\beta = 97,2(2)^\circ$ ;  $V = 352 \text{ \AA}^3$ . The chemical composition is unstable and depends on impurities of zinc, magnesium, iron. Crystal formulas  $(\text{Cu}_{0,961}\text{Zn}_{0,041}\text{Mg}_{0,006})_{1,008}(\text{SO}_4)_{0,997} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  and  $(\text{Cu}_{0,865}\text{Zn}_{0,117}\text{Mg}_{0,011})_{0,993}(\text{SO}_4)_{1,029} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Copper deficiency and magnesium-zinc specialization are clearly identified. The content of molecular water was determined by the gravimetric method in the amount of 27,31...27,33 %. It emerges from bonattite at temperatures of 99,6; 121,4 °C and in the range 230...263.6 °C. Absorption bands on the IR spectrum ( $\text{cm}^{-1}$ ) 3340,82; 2428,48; 2102,48; 1680,05; 1656,91; 1107,18; 993,37; 871,85; 628,81; 572,88; 507,30

**Key words:** bonattite, chalcalthite, boleite, tin-polymetallic deposit, Sopka Bolshaya, Sherlovogorsk ore district, Transbaikal region; copper sulfate; crystal hydrate water molecules; magnesium-zinc specialization

**В**ведение. В 2004 г. бонаттит обнаружен в Забайкальском крае одним из авторов [6] в карьере бывшей отработки олово-полиметаллического месторождения Сопка Большая в пределах Шерловогорского рудного района в продуктах выветривания олово-полиметаллических руд, содержащих халькопирит в ассоциации с халькантитом. Это определило интерес к минералу, впервые обнаруженному в Забайкалье.

Первая находка бонаттита описана в 1957 г. К. Л. Гаравелли в зоне гипергенеза железорудного месторождения Капо Каламита (Capo Calamita) на острове Эльба в геденбергитовом скарне в виде матовых корочек светло-лазурного цвета до нескольких сантиметров толщиной [8]. Второй раз бонаттит в виде голубых червеобразных агрегатов до 2 мм в длину описан Я. Л. Ямбором [9] в желваке размером с кулак, взятом с участка Авока р. Бонапарт в районе Лиллуэт Британской Колумбии (Avocaclaim, Bonaparte river, Lillooet District, British Columbia).

В России бонаттит впервые определен В. Н. Авдониным [1] в составе продуктов дегидратации халькантита на отвалах Гайского медного месторождения на Южном Урале и

в продуктах изменения медных предметов из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Е. В. Белогуб описала псевдоморфозы бонаттита по халькантиту, образовавшиеся при длительном хранении на сухом открытом воздухе в музейных и лабораторных условиях [2].

В зоне современного гипергенного минералообразования в карьере олово-полиметаллического месторождения Сопка Большая в течение 2010–2017 гг. бонаттит наблюдался несколько раз в ассоциации с халькантитом, в основном, в виде пузырчатых корочек и осыпавшегося с глыб порошкового материала.

Шерловогорский рудный район и локализованное в его восточной части олово-полиметаллическое месторождение Сопка Большая находится в Юго-Восточной части Забайкальского края, недалеко от пгт Шерловая Гора (рис. 1).

Олово-полиметаллическое месторождение Сопка Большая локализовано в кварцевых порфирах и эксплозивных брекчиях. Среди обломков кварцевых порфиров в брекчиях отмечаются осадочные породы фундамента, диоритовые порфириды и граниты [13].



Рис. 1. Местоположение Шерловогорского рудного района / Fig. 1. Location of the Sherlovogorsk ore district

**Материал и методы исследования.** Для изучения использованы агрегаты светло-голубого минерала, развившегося на корках и почковидных агрегатах халькантита, а также непосредственно на кристаллах гипса и бледно-зеленых корочках мелантерита и си-

деротила. Общее число находок подобных образований достигает первого десятка. Эти агрегаты визуально и под бинокляром разделены по цвету на халькантит, бонаттит, а также игольчатые и спутано-волокнистые агрегаты гипса, сульфатов цинка (ганнингит,

бианкит) и магнезия (старкеит, кизерит, гексагидрит).

Идентификация минеральных фаз проведена одним из авторов на основе оптических свойств, подтвержденных рентгеноструктурным анализом, выполненным в Институте земной коры СО РАН на дифрактометре ДРОН-3 на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении методом порошка, пробы истерты в этиловом спирте до состояния пудры (аналитик З. Ф. Ущাপовская). Выполнено два полных химических анализа в химической лаборатории АО ЛИЦИМС (г. Чита) с использованием атомно-абсорбционного, фотометрического, гравиметрического и титриметрических методик (руководитель лаборатории Т. А. Кандыбина).

Синхронный термический анализ выполнен одним из авторов в лаборатории геохимии и рудогенеза ИПРЭК СО РАН на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы «NETZSCH» (ФРГ) в платиновых тиглях, скорость нагрева составляла  $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ , атмосфера – аргон,

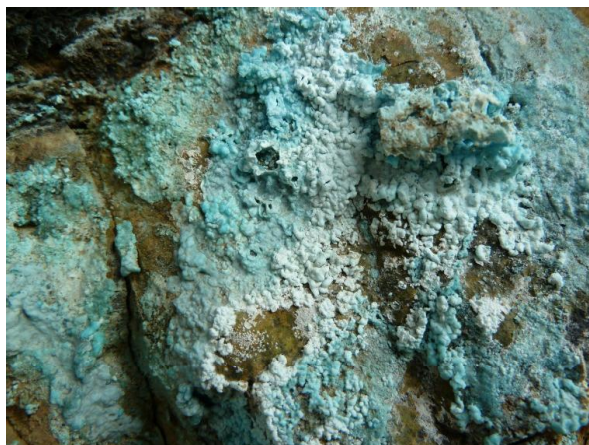


Рис. 2. Почковидные корки бонаттита с поздним гидроцианитом на глыбе окисленной халькопирит-сфалеритовой руды.  $10 \times 10$  см. Карьер / Fig. 2. Reniform crusts of bonattite with late hydrocyanite on a block of oxidized chalcopyrite-sphalerite ore.  $10 \times 10$  cm. Quarry

Обособленных хорошо образованных кристаллов в голубых агрегатах не обнаружено. Отдельные образцы до  $1...1,5$  мм представляют пересекающиеся или субпараллельные почти бесцветные в иммерсионном препарате агрегаты. В иммерсионных препаратах по высокому двупреломлению и  $n_m > 1,55$ , однозначно определено, что это не халькантит. В результате детального изучения этих агрегатов определены показатели преломления, совпадающие с данными К. Л. Гаравелли [8] (табл. 1).

навеска пробы – 10 мг. ИК-спектры сняты на приборе «Shimadzu FTIR 8400S» в области  $400...4000\text{ cm}^{-1}$  в лаборатории кафедры химии ЗабГУ (аналитик Д. В. Пузынин).

*Результаты исследования.* Изучены образцы, собранные в 2007 и в 2010 гг. в карьере олово-полиметаллического месторождения Сопка Большая Шерловогорского рудного района. Обнаружены на глыбах халькопирит-сфалеритовых руд в виде голубых различных оттенков корок с почковидной (субсферической) поверхностью (рис. 2). Часть из них в виде матовых корочек голубого цвета ассоциируют с натечными агрегатами халькантита синего цвета, нарастая на них. Подобные корки получены в эксперименте по выращиванию халькантита (рис. 3). Однако они нарастают на грани его кристалла и не являлись результатом дегидратации, как в эксперименте В. Н. Авдониной [1]. Бонаттит в 2007 г. наблюдали в ассоциации с халькантитом, сидеротилом, старкеитом (обр. ШГ-07-256-2).

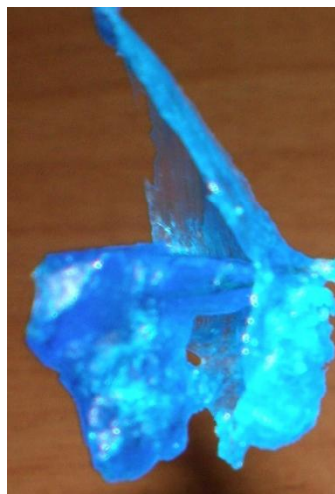


Рис. 3. Корочки бонаттита на выращенном кристалле халькантита / Fig. 3. Bonattite crusts on a grown chalcalthite crystal

Рентгенометрические данные однозначно подтвердили принадлежность агрегатов голубого цвета к бонаттиту (табл. 2). Некоторые из рефлексов с малой интенсивностью в рентгенограммах различных авторов отсутствуют. Это связано, вероятно, с особенностями съемки и присутствием весьма незначительного количества фаз халькантита, сидеротила, старкеита, бойлеита, установленных анализом дифрактограмм наших образцов.

Таблица 1 / Table 1

Оптические свойства образцов бонаттита / Optical Properties of Bonattite Samples

| Номер образца / Sample number | Показатели преломления / Refractive indices |               |               | Ng – Np | Примечание / Note |
|-------------------------------|---|---------------|---------------|---------|-------------------|
|                               | Ng  | Nm            | Np            |         |                   |
| ШГ-10-140-2<br>ShG-10-140-2   | 1,617 ± 0,003                               | 1,576 ± 0,002 | 1,556 ± 0,002 | 0,061   |                   |
| ШГ-13-СМО-7<br>ShG-13-SMO-7   | 1,614 ± 0,001                               | 1,574 ± 0,001 | 1,551 ± 0,003 | 0,063   |                   |
| ШГ-13-СМО-25<br>ShG-13-SMO-25 | 1,617 ± 0,002                               | 1,578 ± 0,002 | 1,555 ± 0,001 | 0,062   |                   |
| Бонаттит / Bonattite          | 1,618                                       | 1,577         | 1,554         | 0,064   | [5]               |

Таблица 2 / Table 2

Сравнение рентгенометрических данных бонаттита Шерловой Горы с опубликованными данными [1; 8; 9] / Comparison of X-ray diffraction data of Sherlova Gora bonattite with published data [1; 8; 9]

| К. Л. Гаравелли [8] /<br>C. L. Garavelli [8] |     |      | Дж. Л. Ямбор [9] /<br>J. L. Jambor [9] |     |      | В. Н. Авдонин [1] /<br>V. N. Avdonin [1] |     | Шерловая Гора,<br>наши данные /<br>Sherlova Gora,<br>our data |     |
|--|-----|------|--|-----|------|--|-----|---|-----|
| d (Å)  | l   | hkl  | d (Å)                                  | l   | hkl  | d (Å)                                    | l   | d (Å)   | l   |
| 5,09   | 65  | 110  | 5,11                                   | 70  | 110  | 5,1                                      | 63  | 5,14  | 66  |
| 4,83   | 35  | 021  | 4,86                                   | 30  | 021  | 4,85                                     | 53  | 4,86  | 39  |
| 4,69   | 19  | -101 | -                                      | -   | -    | 4,72                                     | 17  | 3,67  | 18  |
| 4,4  | 100 | -111 | 4,42                                   | 100 | -111 | 4,40                                     | 100 | 4,44  | 100 |
| 3,96   | 30  | 111  | 3,97                                   | 30  | 111  | 3,975                                    | 35  | 3,97  | 32  |
| -  | -   | -    | -                                      | -   | -    | 3,770                                    | 10  | -   | -   |
| 3,69   | 9   | 031  | -                                      | -   | -    | 3,69                                     | 19  | 3,71  | 22  |
| 3,65   | 55  | 002  | 3,65                                   | 60  | 002  | 3,640                                    | 52  | 3,65  | 60  |
| 3,42   | 50  | -130 | 3,42                                   | 50  | -130 | 3,41,                                    | 50  | 3,42  | 49  |
| 3,28   | 9   | 040  | 3,25                                   | 60  | 040  | -  | -   | 3,26  | 64  |
| 3,24   | 65  | -102 | -                                      | -   | -    | 3,25                                     | 70  | 3,24  | 62  |
| 3,18   | 35  | 022  | -                                      | -   | -    | 3,19                                     | 35  | 3,13  | 29  |
| 3,0  | 40  | 131  | 3,01                                   | 60  | 131  | 3,01                                     | 42  | 3,01  | 49  |
| 2,97   | 20  | 041  | 2,97                                   | 20  | 041  | 2,97                                     | 19  | 2,97  | 20  |
| 2,814  | 25  | 112  | 2,82                                   | 40  | 112  | 2,814                                    | 50  | 2,82  | 39  |
| 2,743  | 25  | -210 | -                                      | -   | -    | 2,75                                     | 20  | 2,748   | 18  |
| 2,66   | 7   | -211 | -                                      | -   | -    | 2,66                                     | 6   | 2,66  | 12  |
| 2,55   | 7   | 220  | 2,55                                   | 5   | 220  | 2,545                                    | 6   | 2,550   | 10  |
| -  | -   | -    | 2,498                                  | 50  | -221 | -  | -   | 2,499   | 35  |
| 2,494  | 40  | 201  | -                                      | -   | -    | 2,494                                    | 55  | -   | -   |
| -  | -   | -    | 2,428                                  | 5   | 042  | 2,425                                    | 12  | 2,430   | 9   |
| 2,420  | 9   | 003  | -                                      | -   | -    | -  | -   | -   | -   |
| 2,349  | 11  | -202 | 2,354                                  | 10  | -202 | 2,350                                    | 16  | 2,361   | 12  |
| 2,275  | 35  | 023  | -                                      | -   | -    | 2,274                                    | 37  | 2,280   | 36  |
| -  | -   | -    | 2,278                                  | 40  | -151 | -  | -   | -   | -   |
| 2,211  | 9   | -222 | -                                      | -   | -    | -  | -   | 2,217   | 12  |
| -  | -   | -    | 2,208                                  | 10  | 151  | 2,207                                    | 12  | -   | -   |
| -  | -   | -    | -                                      | -   | -    | -  | -   | -   | -   |
| 2,103  | 11  | 113  | 2,106                                  | 20  | 113  | 2,102                                    | 20  | 2,104   | 11  |
| 2,079  | 11  | 061  | 2,081                                  | 20  | 061  | 2,073                                    | 21  | 2,083   | 20  |
| -  | -   | -    | 1,95                                   | 10  | 043  | 1,946                                    | 12  | 1,946   | 15  |
| 1,938  | 11  | 152  | -                                      | -   | -    | -  | -   | -   | -   |
| -  | -   | -    | 1,908                                  | 10  | -242 | -  | -   | -   | -   |
| 1,9  | 9   | 250  | -                                      | -   | -    | 1,902                                    | 9   | 1,903   | 10  |

Окончание табл. 2

|       |    |      |       |    |      |       |    |        |    |
|-------|----|------|-------|----|------|-------|----|--------|----|
| -     | -  | -    | 1,867 | 10 | -223 | 1,868 | 6  |        |    |
| -     | -  | -    | 1,827 | 10 | -311 | 1,828 | 13 | 1,829  | 14 |
| 1,824 | 9  | 004  | -     | -  | -    | -     | -  | -      | -  |
| 1,762 | 11 | 170  | 1,762 | 10 | 170  | 1,76  | 11 | 1,766  | 9  |
| 1,722 | 11 | -312 | 1,724 | 10 | -312 | -     | -  | 1,7180 | 12 |

Примечания: 1. Съемка образца бонаттита Шерловой Горы проведена до  $52^\circ 20'$  и поэтому значения  $d/n$  табличных данных [8] и [9] на больших углах не приведены. 2. Прочерками обозначены отсутствующие данные на рентгенограммах /

Note: 1. A survey of the Sherlova Gora bonattite sample was carried out up to  $52^\circ 20'$  and therefore the  $d/n$  values of the tabular data [8] and [9] at large angles are not given. 2. Dashes indicate missing data on radiographs

Параметры элементарной ячейки бонаттита соответствуют известным –  $a = 5,59(1) \text{ \AA}$ ;  $b = 13,04(1) \text{ \AA}$ ;  $c = 7,36(1) \text{ \AA}$ ;  $\beta = 97,2(2)^\circ$ ;  $V = 352 \text{ \AA}^3$ .

Химический состав монофракций индивидуальных и их сростков из двух агрегатов бонаттита показал, что в бонаттите кроме меди и цинка содержатся железо, кальций, марганец,

никель, кобальт, магний и алюминий. Количество кристаллогидратной воды определено методом термогравиметрии. Одна из термограмм представлена на рис. 4. На термограмме представлены кривые нагревания бонаттита и пуатвенита, который образовался на бонаттите.

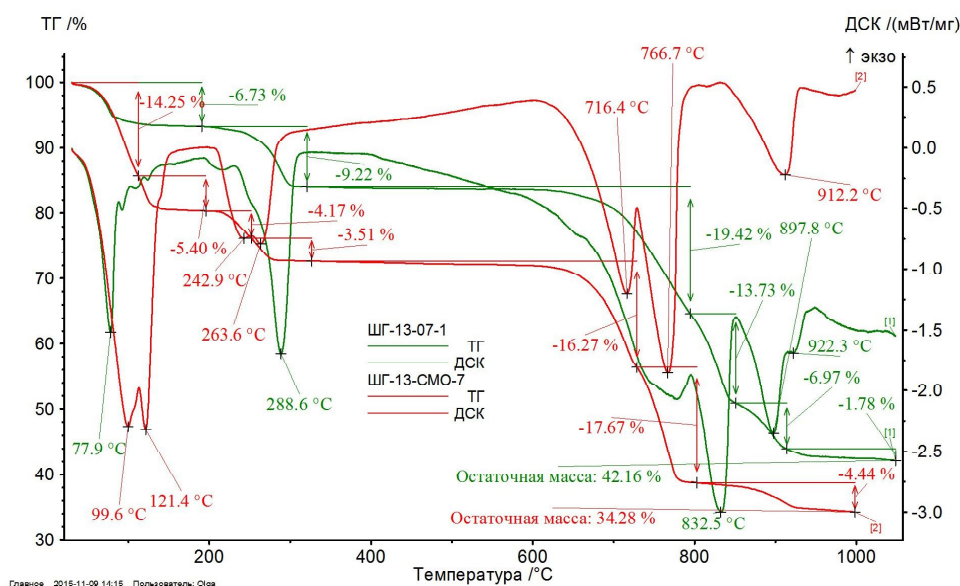


Рис. 4. ТГ и ДСК образцов ШГ-13-СМО-07-1 (пуатвенит) и ШГ-13-СМО-07 (бонаттит) / Fig. 4. TG and DSC samples ShG-13-SMO-07-1 (putwenite) and ShG-13-SMO-07 (bonattite)

На термограммах четко выделяется три стадии потери воды [3]. Из бонаттита при температуре 99,6 и 121,4 °C выделяется соответственно 14,25 и 5,40 % воды, оставшаяся третья молекула выделяется ступенчато в диапазоне 230...263,6 °C. О ступенчатости ее выделения свидетельствует слабо раздвоенный при 242,6 °C пик. В диапазоне температур 230...242,9 °C выделяется 4,17 % воды, в интервале 242,9...263,6 °C – оставшиеся 3,51 %. Суммарный выход воды составил

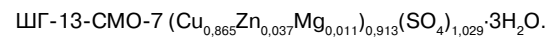
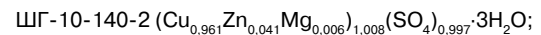
27,33 %, что дает идеальное совпадение с данными К. Л. Гаравелли [8].

В температурном диапазоне 600...770 °C в два этапа с максимумами эндоэффектов при 716,4 и 766,7 °C происходит разложение безводного сульфата. При температурах 915...933 °C идет процесс восстановления оксида меди  $\text{CuO}$  до  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

На дифференциальной кривой нагревания пуатвенита четко проявлен эндотермический пик при 77,9 °C. Ему соответствует вы-

ход воды 6,73 %. Поскольку на одну молекулу воды в  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  приходится 9,11 % и, по данным работы «Термический анализ минералов и горных пород» [3], первая молекула воды из халькантита выходит при 90...100 °С, следует принять, что зафиксирован выход не кристаллизационной, а гигроскопической воды. Второй эндозффект на термограмме пуатвенита с максимумом при 288,6 °С соответствует выходу единственной кристаллогидратной молекулы, массовая доля которой составляет 9,22 %, что почти точно совпадает с массовой долей выхода одной молекулы в бонаттите.

Расчет эмпирической формулы проводился на четыре атома кислорода, три молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитанные формулы образцов бонаттита выглядят следующим образом:



Как видно из приведенных формул, бонаттит имеет цинково-магниевою специфику. На ИК-спектре (рис. 5) бонаттита (обр. ШГ-07-164) валентные колебания ОН-групп молекулярной воды характеризуются относительно широкой полосой поглощения при 3340,82  $\text{см}^{-1}$  с незначительным ее расщеплением, деформационные колебания молекулярной воды отображены полосами поглощения 1680,05 и 1656,91  $\text{см}^{-1}$ . Колебания сульфат-аниона отображены полосами поглощения 1107,18, 628,81, 572,88 и 507,30  $\text{см}^{-1}$ . Полоса поглощения 993,37  $\text{см}^{-1}$  соответствует колебаниям S – O, а 871,85  $\text{см}^{-1}$  – деформационным колебаниям Cu – ОН.

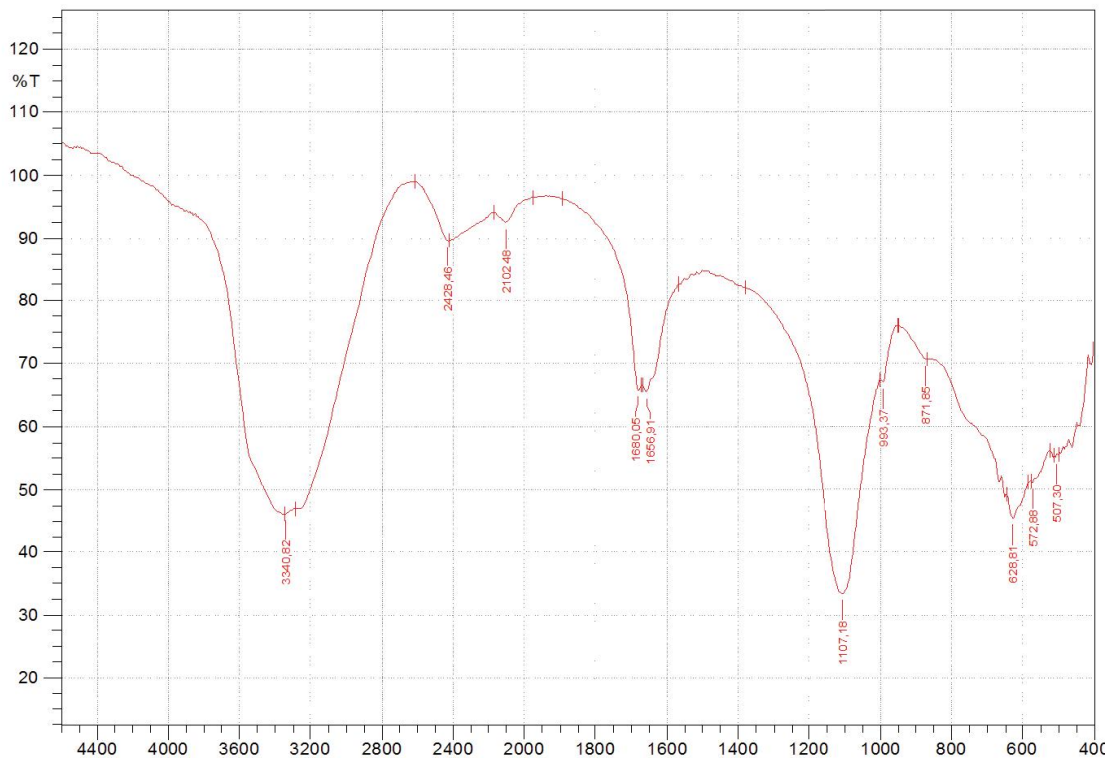


Рис. 5. ИК-спектр бонаттита. Образец ШГ-07/164 (I) / Fig. 5. IR spectrum of bonattite. Sample ShG-07/164 (I)

**Заключение.** Бонаттит, как следует из данных различных источников, обычно находится в ассоциации с халькантитом, что выявлено и на Шерловогорском месторождении. Однако в отличие от Гайского месторождения меди, где по данным В. Н. Авдониной [1], бонаттит является продуктом дегидратации

халькантита, в карьере разработки месторождения Сопка Большая в условиях сухого жаркого лета он образуется на испарительном геохимическом барьере вслед за ним. Кроме того, одновременно с бонаттитом здесь образуются сульфаты цинка (бойлеит) и магния (старкеит).

Особенности геохимической специализации дренируемых водными растворами первичных олово-полиметаллических руд

(железо, магний, цинк) отражаются в катионном составе бонаттита, замещая медь.

### Список литературы

1. Авдонин В. Н. Бонаттит – новый сульфат меди в Гайском месторождении // Труды Минералогического музея СССР. 1978. № 27. С. 5–9.
2. Белогуб Е. В., Щербакоева Е. П., Никандрова Н. К. Сульфаты Урала: распространенность, кристаллохимия, генезис. М.: Наука, 2007. 159 с.
3. Иванова В. П., Касатов Б. К., Красавина Т. Н., Розинова Е. Л. Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 1974. 399 с.
4. Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов // WWW-MINKRIST. URL: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus> (дата обращения: 23.09.2019). Текст: электронный.
5. Флейшер М., Уилкоккс Р., Матцко Дж. Микроскопическое определение прозрачных минералов. Л.: Недра, 1987. 646 с.
6. Юргенсон Г. А., Сергутская О. С. Сульфаты магния и цинка в продуктах современного минералообразования из временных водотоков на техногенном делювии в прибрежной зоне водоема Шерловогорского карьера // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: сб. ст. Чита, 2008. С. 133–138.
7. Database of Raman spectroscopy, X-ray diffraction and chemistry of minerals (RRUF). URL: <http://rruff.info> (дата обращения: 27.10.2019). Текст: электронный.
8. Garavelli C. L. Bonattite: un nuovo minerale di altera zione del giacimento Elbano di Capo Calamita // Atti della accademia nazionale dei Lincei rendiconti Lincei scienze fisiche e naturali. 1957. Vol. 22. P. 318–327.
9. Jambor J. L. Second occurrence of bonattite // The Canadian Mineralogist. 1962. No. 7. P. 245–252.
10. Kasatkin A. V., Klopotov K. I., Plasil J. Supergene minerals of Sherlova Gora // Mineralogical Almanac. 2014. Vol. 19, No. 2. P. 94–139.
11. Mineralogy Database. URL: <http://webmineral.com> (дата обращения: 17.10.2019). Текст: электронный.
12. Sergutskaya O. S., Yurgenson G. A. The modern magnesium and zinc sulphates of the Sherlovogorsk tin-poly-metallic mine // Geology and Resources: collection of articles. 2009. Vol. 19. P. 4–6.
13. Yurgenson G. A., Kononov O. V. Sherlova Gora: A Deposit for Gemstones and Rare Metals // Mineralogical Almanac. 2014. Vol. 19, No. 2. P. 12–93.
14. Zahrobsky R. F., Bauer W. H. On the crystal chemistry of salt hydrates. V. The determination of the crystal structure of  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (bonattite) // Acta Crystallographica. 1968. Vol. B24. P. 508–513.

### References

1. Avdonin V. N. *Trudy Mineralogicheskogo muzeya SSSR* (Proceedings of the Mineralogical Museum of the USSR), 1978, no. 27, pp. 5–9.
2. Belogub E. V., Scherbakova E. P., Nikandrova N. K. *Sulfaty Urala: rasprostranennost, kristallokhimiya, genezis* (Ural sulphates: prevalence, crystal chemistry, genesis). Moscow: Science, 2007. 159 p.
3. Ivanova V. P., Kasatov B. K., Krasavina T. N., Rozinova E. L. *Termicheskiy analiz mineralov i gornykh porod* (Thermal analysis of minerals and rocks). Leningrad: Nedra, 1974. 399 p.
4. *WWW-MINKRIST* (WWW-MINKRIST). URL: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus> (Date of access: 23.09.2019). Text: electronic.
5. Fleisher M., Wilcox R., Matsko J. *Mikroskopicheskoye opredeleniye prozrachnykh mineralov* (Microscopic determination of transparent minerals). Leningrad: Nedra, 1987. 646 p.
6. Yurgenson G. A., Sergutskaya O. S. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy. Sovremennoye mineraloobrazovaniye: sb. st.* (Mineralogy and geochemistry of the landscape of mining territories. Modern mineral formation: collection of articles), Chita, 2008, pp. 133–138.
7. *Database of Raman spectroscopy, X-ray diffraction and chemistry of minerals (RRUF)* (Database of Raman spectroscopy, X-ray diffraction and chemistry of minerals (RRUF)). URL: <http://rruff.info> (Date of access: 27.10.2019). Text: electronic.
8. Garavelli C. L. *Atti della accademia nazionale dei Lincei rendiconti Lincei scienze fisiche e naturali* (Atti della accademia nazionale dei Lincei rendiconti Lincei scienze fisiche e naturali), 1957, vol. 22, pp. 318–327.
9. Jambor J. L. *The Canadian Mineralogist* (The Canadian Mineralogist), 1962, no. 7, pp. 245–252.

10. Kasatkin A. V., Klopotov K. I., Plasil J. *Mineralogical Almanac* (Mineralogical Almanac), 2014, vol. 19, no. 2, pp. 94–139.
11. *Mineralogy Database* (Mineralogy Database). URL: <http://webmineral.com> (Date of access: 17.10.2019). Text: electronic.
12. Sergutskaya O. S., Yurgenson G. A. *Geology and Resources: collection of articles* (Geology and Resources: collection of articles), 2009, vol. 19, pp. 4–6.
13. Yurgenson G. A., Kononov O. V. *Mineralogical Almanac* (Mineralogical Almanac), 2014, vol. 19, no. 2, pp. 12–93.
14. Zahrobsky R. F., Bauer W. H. *Acta Crystallographica* (Acta Crystallographica), 1968, vol. B24, pp. 508–513.

#### Коротко об авторах

---

*Юргенсон Георгий Александрович*, д-р геол.-минер. наук, зав. лабораторией геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, профессор кафедры химии, Забайкальский государственный университет, заслуженный деятель науки РФ, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералогия, геохимия, рудогенез, геммология  
[yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)

*Русаль Ольга Сергеевна*, мл. науч. сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: современное минералобразование, физико-химическое моделирование  
[sergutskaya@mail.ru](mailto:sergutskaya@mail.ru)

#### Briefly about the authors

---

*Georgy Yurgenson*, doctor of geological and mineralogical sciences, head of Geochemistry and Ore Deposits Genesis laboratory, Institute of Nature Resources, Ecology and Criology SB RAS, professor of Chemistry department, Transbaikal State University, honored scientific worker of RF, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy, geochemistry, gemology and ore deposits genesis

*Olga Rusal*, junior researcher, Institute of Nature Resources, Ecology and Criology SB RAS, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: modern mineral formation, physico-chemical modeling

#### Образец цитирования

---

*Юргенсон Г. А., Русаль О. С. Бонаттит Шерловгорского олово-полиметаллического месторождения (Забайкальский край) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 2. С. 55–62. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-55-62.*

*Yurgenson G., Rusal O. Bonattite of the Sherlovogorsk tin-polymetallic deposit (Transbaikal region) // Transbaikal State University Journal, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 55–62. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-55-62.*

Статья поступила в редакцию: 24.12.2019 г.  
Статья принята к публикации: 05.02.2020 г.