

УДК 549.514: 553.621

DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-7-51-63

**ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

**EXPERIENCE OF FINE-GRAINED MINERAL AGGREGATES INVESTIGATION OF
THE HYPERGENESIS ZONE OF THE TRANSBAIKAL DEPOSITS
BY PHYSICAL-CHEMICAL METHODS**



Г. А. Юргенсон,
*Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
yurgga@mail.ru*

G. Yurgenson,
*Transbaikal State University,
Chita*



К. А. Макарова,
*«SGS Восток Лимитед»,
г. Чита
humanoid483_1989@mail.ru*

K. Makarova,
*«SGS Vostok Limited»,
Chita*



Н. С. Кузнецова,
*Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
kns2702@yandex.ru*

N. Kuznetsova,
*Transbaikal State University,
Chita*

Изложены результаты исследования минерального, химического состава и структуры тонкозернистых природных минеральных ассоциаций – минералов подкласса природные соли серной кислоты в зоне гипергенеза месторождений Сопка Большая (Шерловая гора) и Ключевское. С помощью пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии и турбидиметрии установлен химический состав минеральных агрегатов, представляющих собой смесь сульфатов. Установлено, что в минеральных ассоциациях преобладают катионы магния, железа, цинка, кальция и меди с переменным содержанием. Иммерсионным методом с использованием поляризационного микроскопа, подтвержденным рентгенофазовым анализом, диагностированы минералы: гексагидрит, пентагидрит, старкеит, сидеротил, халькантит, примеси гипса и кварца. С помощью ИК-спектроскопии и термического анализа показано, что все они содержат в своей структуре кристаллогидратную воду

Ключевые слова: минеральные ассоциации; сульфаты; физико-химические методы анализа; Ключевское месторождение; месторождение Сопка Большая; Забайкалье; гипергенез месторождений; иммерсионный метод; тонкозернистые минеральные агрегаты; ИК-спектроскопия

The results of the mineral, chemical composition and structure of fine-grained natural mineral aggregates investigation – minerals of the natural salts subclass of sulfuric acid in the hypergenesis zone of the Sopka Bolshaya (Sherlova Gora) and Kliuchevskoye deposits are presented. With the help of flame atomic absorption spectrometry and turbidimetry, the chemical composition of mineral aggregates, which are a mixture of sulfates, is established. It has been proved that cations of magnesium, iron, zinc, calcium and copper with variable content predominate in mineral associations. By the immersion method with the use of a polarizing microscope, confirmed by x-ray phase analysis such minerals as hexahydrate, pentahydrate, starkeite, siderotil, chalcantite, admixtures of gypsum and quartz are diagnosed. Using IR spectroscopy and thermal analysis, it is shown that they all contain crystalline hydrate in their structure

Key words: mineral associations; sulfates; physical and chemical methods of analysis; Klyuchevskoye deposit; Sopka Bolshaya deposit; Transbaikalia; hypergenesis of deposits; immersion method; fine-grained mineral aggregates; IR spectroscopy

Актуальность проблемы. Самым многочисленным классом, включающим около двух третей всех известных в настоящее время минералов, являются минералы солей кислородных кислот. Они относятся к современному минералообразованию и представляют определенный интерес для изучения — знание химического состава природных солей кислородных кислот позволяет судить о миграции химических элементов в ландшафте и минералообразовании [1; 2; 4; 9]. Минеральные ассоциации месторождений Забайкальского края Сопка Большая (Шерловая гора) и Ключевское относительно хорошо изучены ранее [2; 4; 9], однако детальное их строение и структура не исследованы. Комплексный анализ подобных минеральных отложений раскрывает сложность и многообразие современного минералообразования.

Цель работы — изучение минералов класса кислородных кислот подкласса природных соли серной кислоты указанных месторождений физико-химическими методами, определение их химического состава.

Материалы и методы. Исследуемые образцы получены в 2006–2008 гг. в виде минеральных ассоциаций, макроморфологические особенности которых определяли прямым наблюдением и с использованием бинокулярного микроскопа МБС-2 [5]. Разделение на мономинеральные фракции осуществляли с помощью препаративной иглы. Определение показателей преломления произведено в иммерсионных препаратах на поляризационном микроскопе AXIO Scope A1 фирмы Karl Zeiss.

К пробам, отобранным с месторождения Сопка Большая, относятся: ШГ-07/164, ШГ-08/185; с Ключевского месторождения: КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II).

Для изучения минеральных образцов применен комплексный инструментальный анализ. Регистрация ИК-спектров проведена на спектрофотометре с Фурье преобразованием [8] «Shimadzu» FTIR-8400S в лаборатории «Физико-химических исследований природных объектов и синтезированных веществ» инженером Д. В. Пузы-

ниным. Для установления количественного содержания катионов двухвалентных металлов использовался метод пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Выбор металлов для определения произведен исходя из предположения, что исследуемые минералы являются сульфатами меди, цинка, магния и кальция. Подготовка проб и анализ сделаны в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.137-98 [6] и ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 [7]. Определение содержания сульфат-ионов проводили согласно ГОСТ 31940-2012 турбидиметрическим методом на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны $\lambda=364$ нм. Синхронный термический анализ проведен в ИПРЭК СО РАН аналитиком Р. А. Филенко на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH. Рентгенофазовый анализ выполнен в Институте Земной Коры СО РАН на рентгеновском дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS, Германия) инженером З. Ф. Ущиповской и младшим научным сотрудником Д. С. Суворовой. Фазовый состав образцов расшифрован с помощью программы EVA (Diffracplus, PDF-2, 2007 г.) [3].

Результаты и обсуждение. Проба ШГ-07/164 представляла собой смесь хрупких разнообразно окрашенных порошкообразных минералов, для исследования отобран образец бледно-голубого цвета со скрытокристаллической структурой. Проба ШГ-08/185 представляет хрупкие корочки небесно-голубых кристаллов со стеклянным блеском, развивавшихся по трещинам в кварцево-полевошпатовых агрегатах. Образцы КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II) — порошкообразные минералы со скрытокристаллической структурой белого и бледно-голубого цвета соответственно в трещинах в турмалин-кварцево-сульфидном жильном минеральном комплексе.

Иммерсионным методом определены показатели преломления зерен и установлено четыре минеральных вида: эпсомит ($n_p=1,440\pm 0,003$; $n_m=1,453\pm 0,003$; $n_g=1,464\pm 0,003$), гексагидрит ($n_p=1,437\pm 0,003$; $n_m=1,464\pm 0,003$; $n_g=1,464\pm 0,003$) и пентагидрит ($n_p=1,480\pm 0,003$; $n_m=1,491\pm 0,003$;

$n_g=1,493\pm 0,003$), а также сидерит ($n_p=1,512\pm 0,003$; $n_m=1,525\pm 0,003$; $n_g=1,534\pm 0,003$) в пробе КЛЧ-СМО-06 (I), старкиит ($n_p=1,459\pm 0,003$; $n_m=1,469\pm 0,003$; $n_g=1,473\pm 0,003$) и гипс ($n_p=1,519\pm 0,003$; $n_m=1,524\pm 0,003$; $n_g=1,533\pm 0,003$) в пробе КЛЧ-СМО-06 (II). Особенностью эпсомита являются несколько повышенные показатели преломления, что связано, вероятно, с примесью меди, о чем свидетельствуют данные химического анализа. Присутствует также халькантит (обр. ШГ-07/164 и ШГ-08/185), что подтверждено измерением показателей преломления ($n_p=1,500\pm 0,003$; $n_m=1,534\pm 0,003$; $n_g=1,537\pm 0,003$). В образце ШГ-07/164, содержащем существенную примесь цинка, диагностированы индивиды бойлеита с типичными показателями преломления ($n_p=1,520\pm 0,003$; $n_m=1,532\pm 0,003$; $n_g=1,536\pm 0,003$), являющегося сульфатом цинка и магния ($(Zn,Mg)SO_4\cdot 4H_2O$).

ИК-спектроскопический анализ подтвердил наличие сульфат-аниона, который имеет четыре основные колебательные ча-

стоты: частота валентных симметричных колебаний $\sim 981\text{ см}^{-1}$, трижды вырожденных валентных колебаний $\sim 1104\text{ см}^{-1}$, дважды вырожденных деформационных колебаний $\sim 451\text{ см}^{-1}$ и трижды вырожденных деформационных колебаний $\sim 613\text{ см}^{-1}$. Однако под влиянием катионов металлов в минералах частоты поглощения могут смещаться, полосы расщепляться на несколько компонентов, а неактивные частоты проявлять себя. На рис. 1–4 представлены ИК-спектры исследуемых минералов: ШГ-07/164, ШГ-08/185, КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II) соответственно.

Наличие кристаллизационной воды в минералах подтверждается полосами поглощения в области $3600\dots 3000$ и $1700\dots 1600\text{ см}^{-1}$, характерными для валентных и деформационных колебаний молекул.

Особенностью ИК-спектра образца ШГ-08/185 (рис. 2) является значительное уширение полосы поглощения в области, характерной для валентных колебаний воды, а также более низкую степень поглощения по сравнению с ИК-спектрами других образцов.

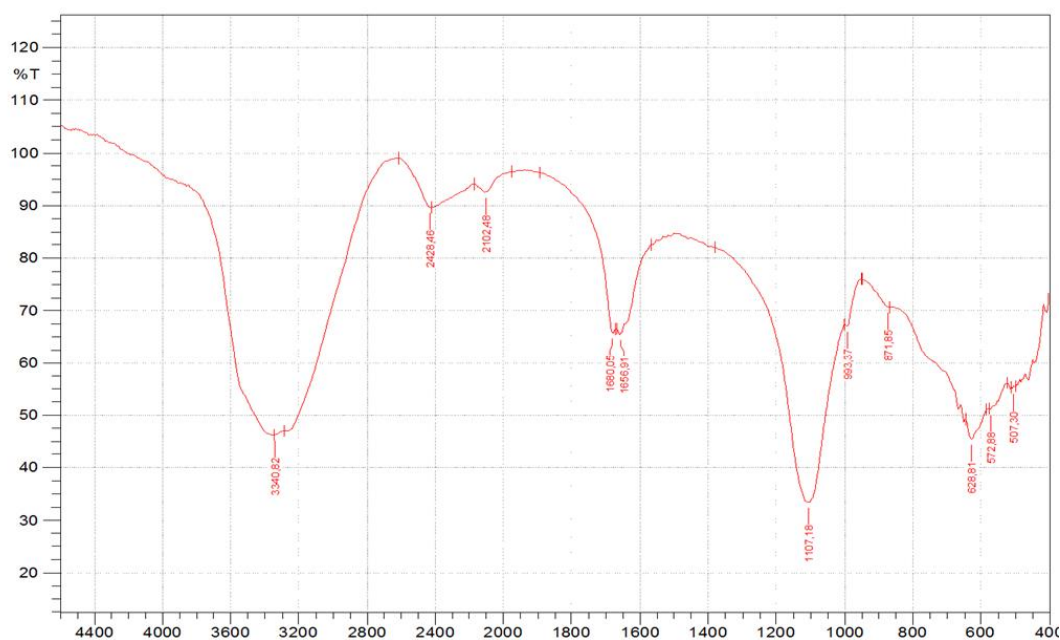


Рис. 1. ИК-спектр пробы ШГ-07/164
Fig. 1. IR spectrum of the sample ShG-07/164

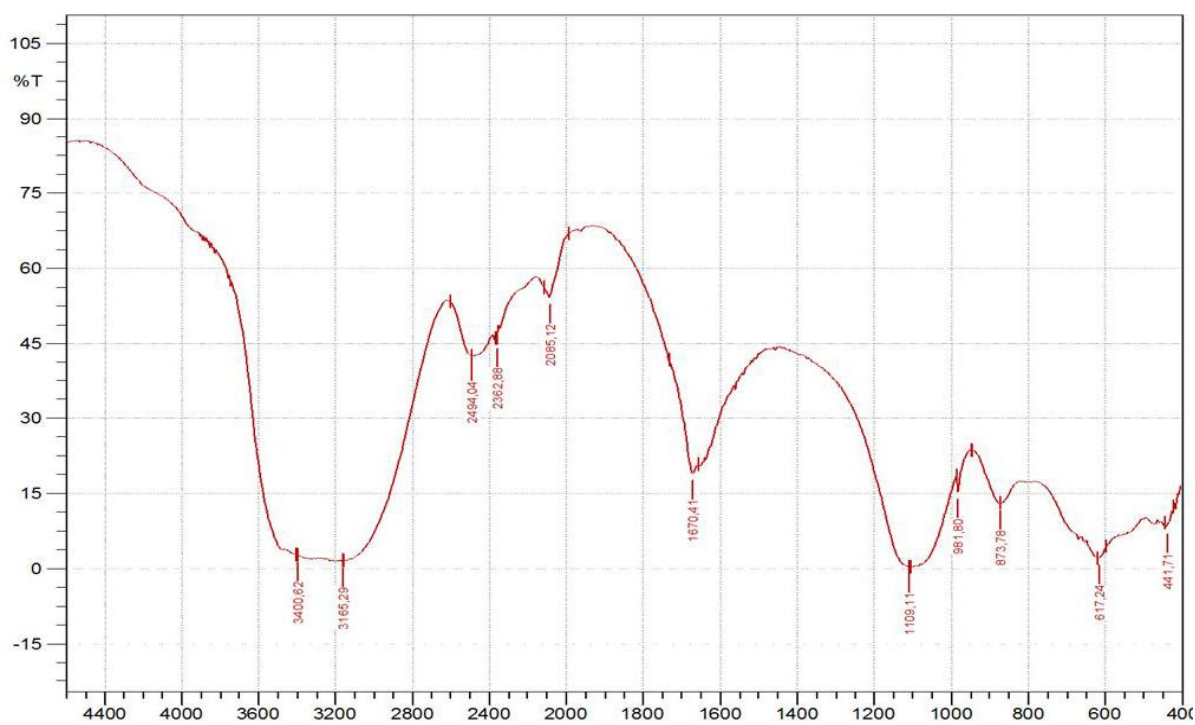


Рис. 2. ИК-спектр пробы ШГ-08/185
Fig. 2. IR spectrum of the sample ShG-08/185

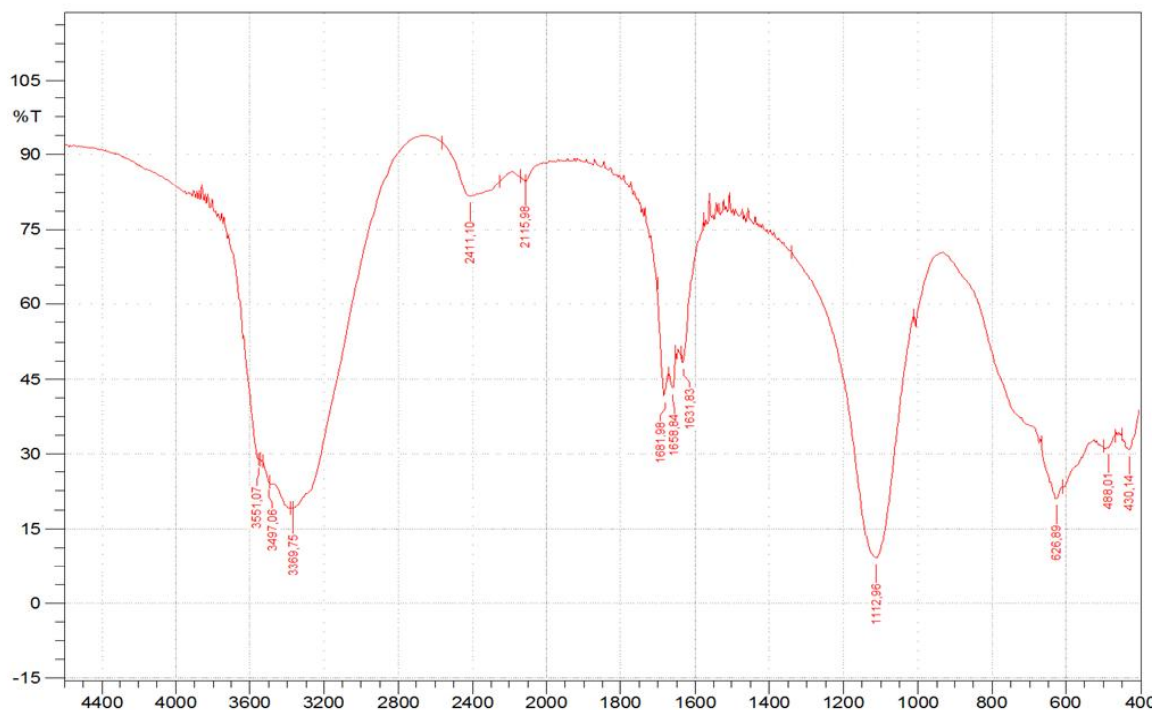


Рис. 3. ИК-спектр пробы КЛЧ-СМО-06 (I)
Fig. 3. IR spectrum of the sample KLCh-SMO-06 (I)

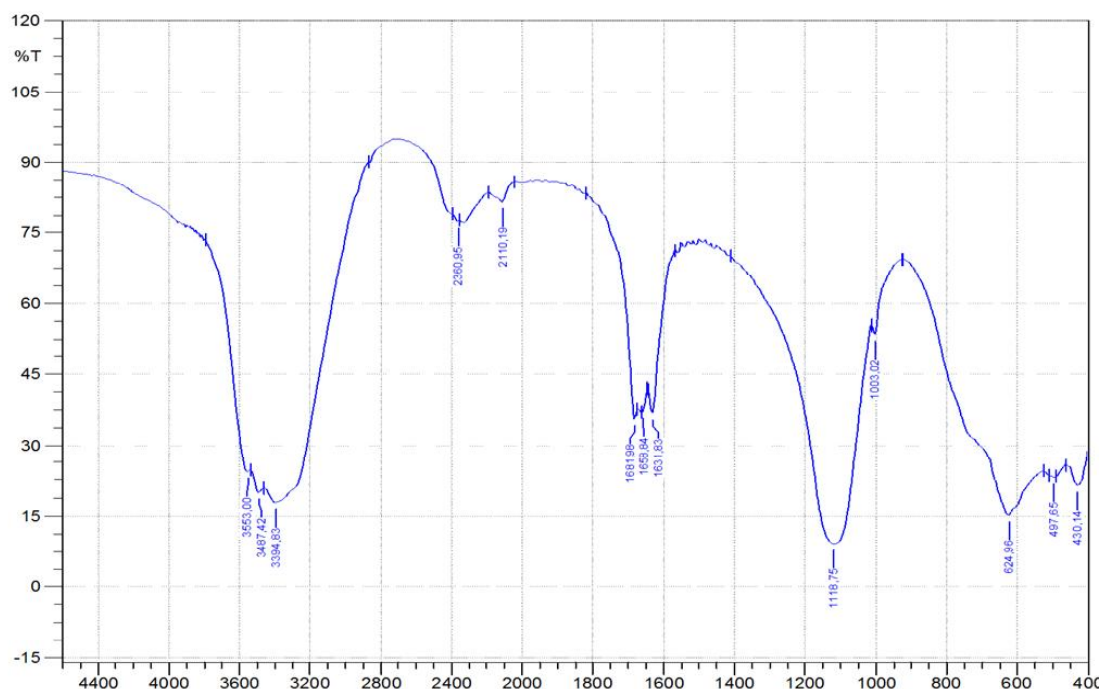


Рис. 4. ИК-спектр пробы КЛЧ-СМО-06 (II)
 Fig. 4. IR spectrum of the sample KLCh-SMO-06 (II)

Как известно, методы колебательной спектроскопии дают возможность получить однозначный ответ в вопросе определения пространственной группы симметрии, которая является не только паспортной характеристикой структуры минерала, но и индикатором условий образования в природе [8].

На рис. 5...8 приведены результаты синхронного термического анализа (ДТА-ДСК-ТГ) образцов.

Навеска минерала ШГ-08/185 составила 10,1366 мг, температура исследования – от комнатной до 950 °С. На термогравиметрической (ТГ) кривой наблюдаем пять стадий потери массы с соответствующими экстремумами на дифференциальной сканирующей калориметрической (ДСК) кривой при температурах 94,6; 126,2; 234,3; 710,4; 759,9 и 914,0 °С (рис. 5). Первые три стадии в диапазоне температур от комнатной до 250 °С обусловлены потерей ис-

следуемым веществом кристаллизационной воды. Уменьшение массы пробы в результате дегидратации составило 32,94 %. Следующие три стадии потери массы определяют разложение сульфата (600...725 °С) и восстановление остаточных оксидов металлов, присутствующих в структуре исследуемого минерала (750...900 °С) [3].

Термограмма пробы ШГ-07/164 представлена на рис. 6. Нагревание минерала проводилось до температуры 1000 °С, масса навески, взятая для исследования, составила 2,8971 мг. Первые две ступени потери массы с экстремумами на ДСК кривой при температурах 94,2 и 327,3 °С характеризуют удаление кристаллизационной воды. Уменьшение массы составило 31,22 %. Следующие стадии снижения массы (экстремумы при 703,4; 765,0 и 893,4 °С) объясняются разложением сульфат-иона и восстановлением металлов до оксидов.

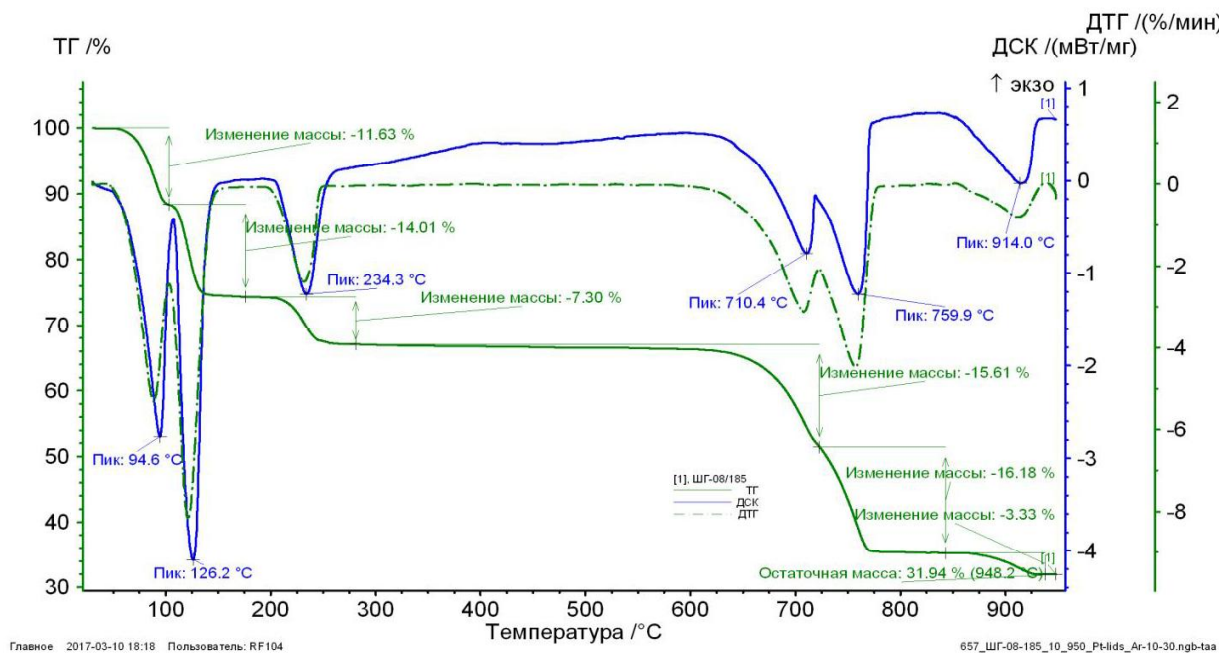


Рис. 5. Термограмма пробы ШГ-08/185
Fig. 5. Thermogram of sample SHG-08/185

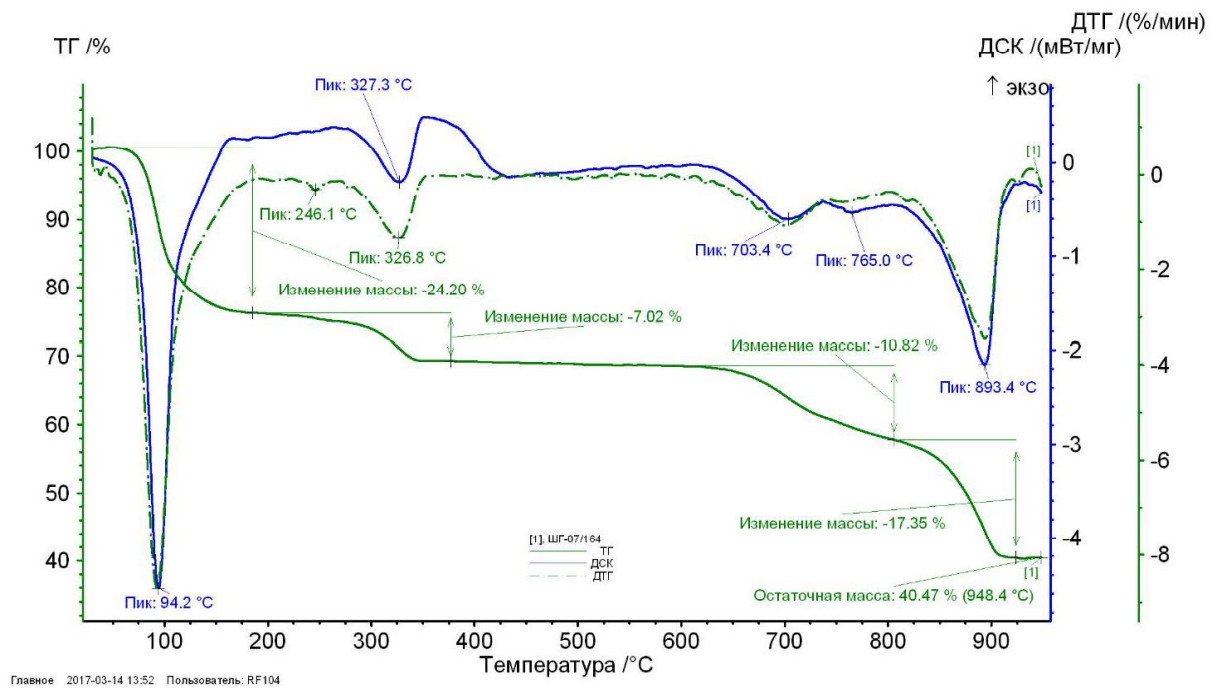


Рис. 6. Термограмма пробы ШГ-07/164/
Fig. 6. Thermogram of sample SHG-08/164

На рис. 7 – термограмма пробы КЛЧ-СМО-06 (I). Пробу нагревали до температуры 1100 °С, масса навески составила 10,6050 мг. На ТГ кривой мы наблюдаем

пять стадий изменения массы с соответствующими им экстремумами на ДСК кривой при температурах 107,8; 125,9; 199,0; 315,3; 732,9 и 972,4 °С. При температуре

~400 °С происходит удаление кристаллизационной воды, соответствующее уменьшение навески пробы составило 38,81 %.

Исследование пробы КЛЧ-СМО-06 (II) проведено при нагревании до 1100 °С, масса навески составила 10,120450 мг. На ТГ кривой (рис. 8) идентифицируется 6 стадий потери массы и соответствующие им эндотермические пики на ДСК кривой.

До ~350 °С происходит удаление кристаллизационной воды, в связи с чем навеска пробы уменьшилась на 47,39 %. Последняя стадия потери массы с соответствующим эндотермическим эффектом при температуре 998,4 °С, возможно, характеризуется образованием оксидов меди и магния и разложением сульфата [3].

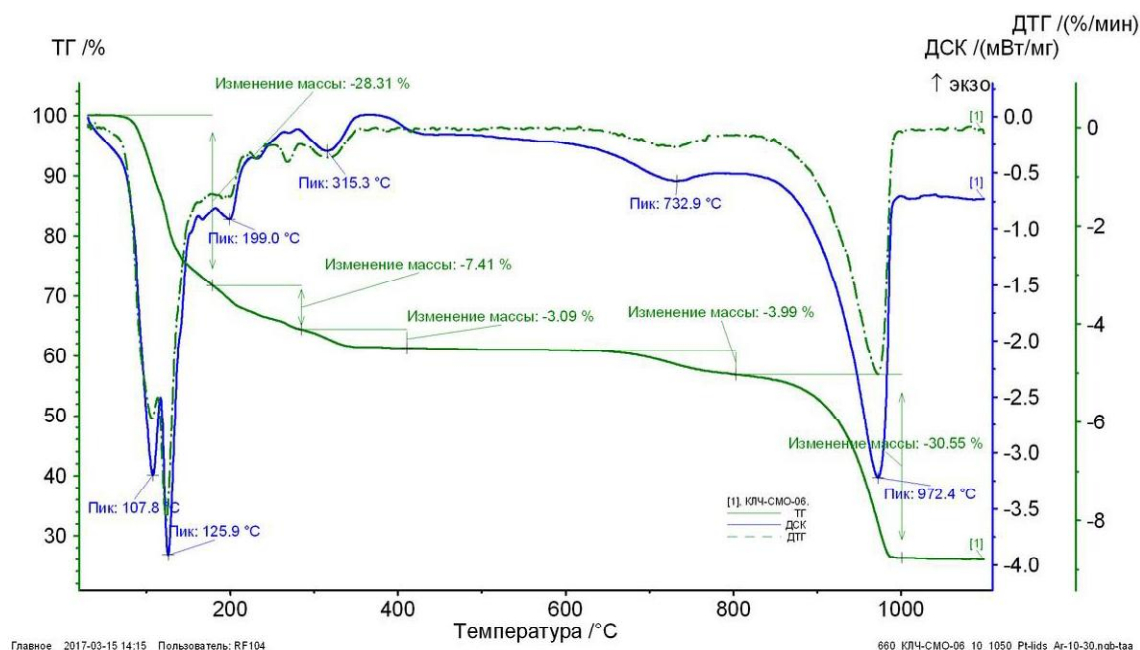


Рис. 7. Термограмма пробы КЛЧ-СМО-06 (I)
 Fig. 7. Thermogram of sample KLCh-SMO-06 (I)

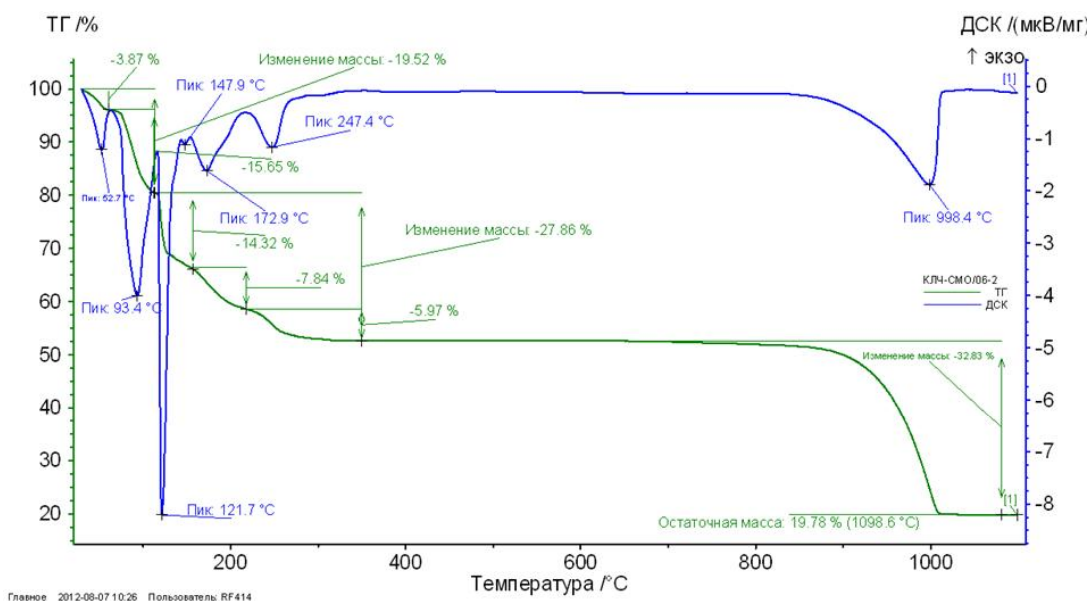


Рис. 8. Термограмма пробы КЛЧ-СМО-06 (II)
 Fig. 8. Thermogram of sample KLCh-SMO-06 (II)

Кроме того, с помощью термического анализа рассчитано количественное содержание воды в минералах (табл. 3).

Таким образом, по результатам изучения методами ИК-спектроскопии и термического анализа можно отнести исследуемые минералы к подклассу природных солей серной кислоты, содержащих кристаллогидратную воду.

Итоги исследования химического состава минералов приведены в табл.1. Ис-

ходя из полученных данных, пробы минералов ШГ-07/164 и ШГ-08/185 можно отнести к сульфатам меди, так как в образцах выявлено преобладание катионов Cu. Пробы КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II) – это сульфаты магния, однако большое содержание Cu в пробе КЛЧ-СМО-06 (I) позволяет предположить, что в данном образце может находиться смесь минералов магния и меди [9].

Таблица 1 / Table 1

Результаты исследования минералов подкласса природных солей серной кислоты методом ААС/ Results of minerals investigation of natural salts subclass of sulfuric acid by the AAS method

Проба/Sample	Навеска, г/ Weight, g	Определяемые компоненты, мг/ Determined components, mg			
		Ca	Cu	Mg	Zn
ШГ-07/164/ShG-07/164	0,0256	0,2242	4,3580	–	2,1403
ШГ-08/185/ShG-08/185	0,1719	0,3493	40,4020	–	0,1131
КЛЧ-СМО-06(I)/KLCh-SMO-06(I)	0,0232	0,0422	1,2040	2,2404	0,0343
КЛЧ-СМО-06(II)/KLCh-SMO-06(II)	0,0512	0,0488	0,1620	4,3731	0,0422

Катионный состав образцов КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II) по содержанию ионов металлов оказался сопоставим с исследованиями, приведенными ранее [1; 9].

Результаты количественного определения методом турбидиметрии сульфат-ионов в пробах ШГ-07/164, ШГ-08/185, КЛЧ-СМО-06(I) и КЛЧ-СМО-06(II) с учетом холостого опыта ($D=0,0215\%$) представлены в табл. 2.

По данным проведенного анализа можно надежно отнести исследуемые минералы к подклассу природных солей серной кислоты.

Рентгеноструктурный анализ позволил определить минеральный состав образцов. Дифрактограмма пробы ШГ-07/164, представленная на рис. 9, подтверждает, что проба имеет следующий состав: халькантит, возможно, следы гипса и кварца.

Таблица 2 / Table 2

**Содержание сульфат-ионов в исследуемых минералах/
Content of sulfate ions in the minerals under study**

Проба/ Sample	ШГ-07/164/ ShG-07/164	ШГ-08/185/ ShG-08/185	КЛЧ-СМО-06(I)/ KLCh-SMO-06(I)	КЛЧ-СМО-06(II)/ KLCh-SMO-06(II)
Навеска, г/ Weight, g	0,0256	0,1719	0,0232	0,0516
D, %	0,0722	0,3930	0,0821	2,0873
C, г	0,0069	0,0380	0,0079	0,0194

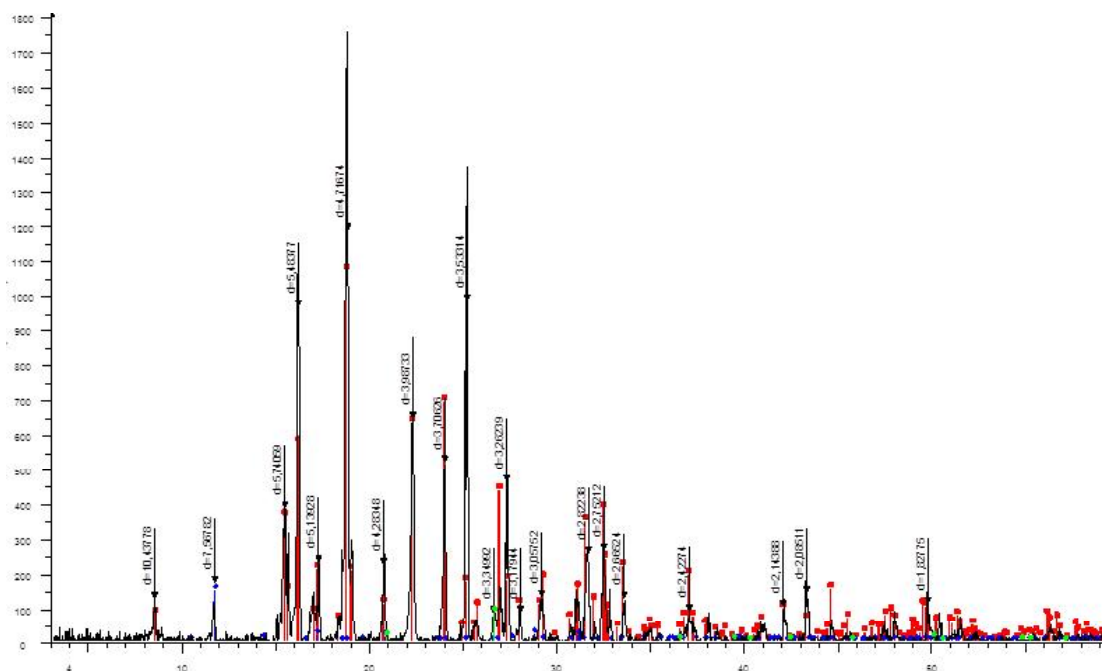


Рис. 9. Дифрактограмма образца ШГ–07/164

(состав пробы: красным цветом показано присутствие халькантита; синим – гипса; зеленым – кварца)

Fig. 9. Diffraction pattern of sample ShG-07/164

(sample composition: red color shows the presence of chalcantite, blue – gypsum, green – silica)

Для пробы ШГ-08/185 (рис. 10) получен следующий фазовый состав: сидеротил, возможно следы гипса и кварца.

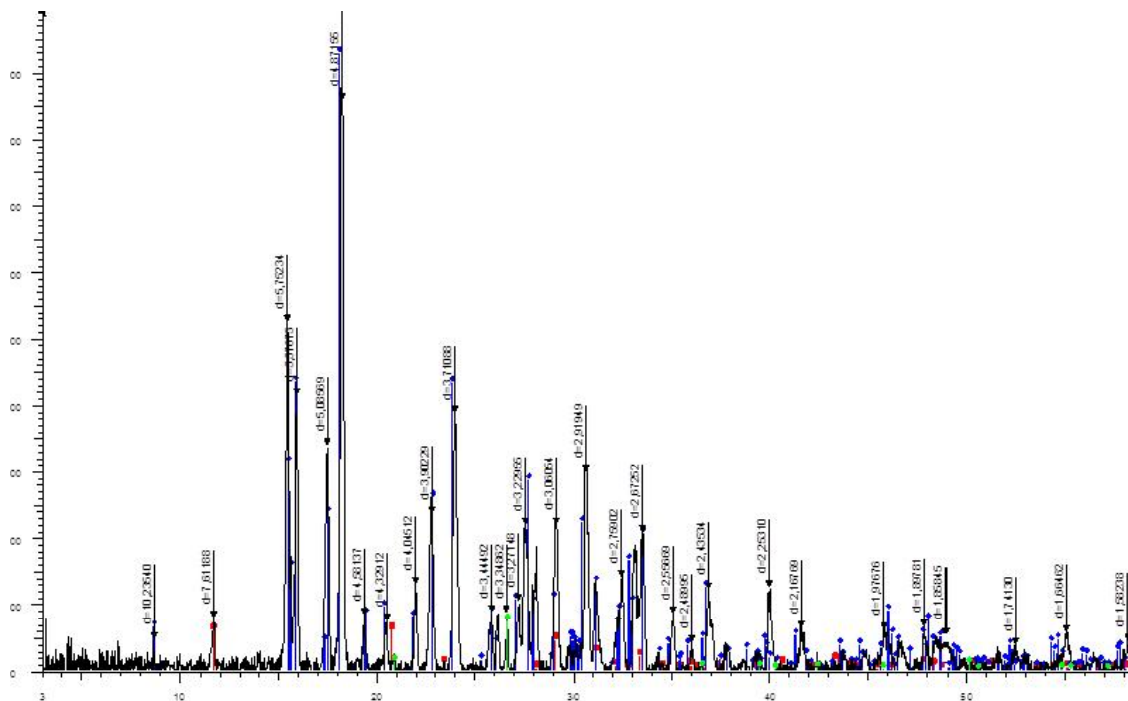


Рис. 10. Дифрактограмма пробы ШГ–08/185

(состав пробы: красным цветом показано присутствие гипса; синим – сидеротила; зеленым – кварца)

Fig. 10. Diffraction pattern of sample ShG-08/185

(sample composition: red color shows the presence of gypsum, blue – siderotil, green – silica)

В пробах КЛЧ-СМО-06 (I) (рис. 11) и КЛЧ-СМО-06 (II) (рис. 12) установлено присутствие гексагидрита и пентагидрита, а также сидеротил в пробе КЛЧ-СМО-06 (I), старкеит и следы гипса в пробе КЛЧ-СМО-06 (II).

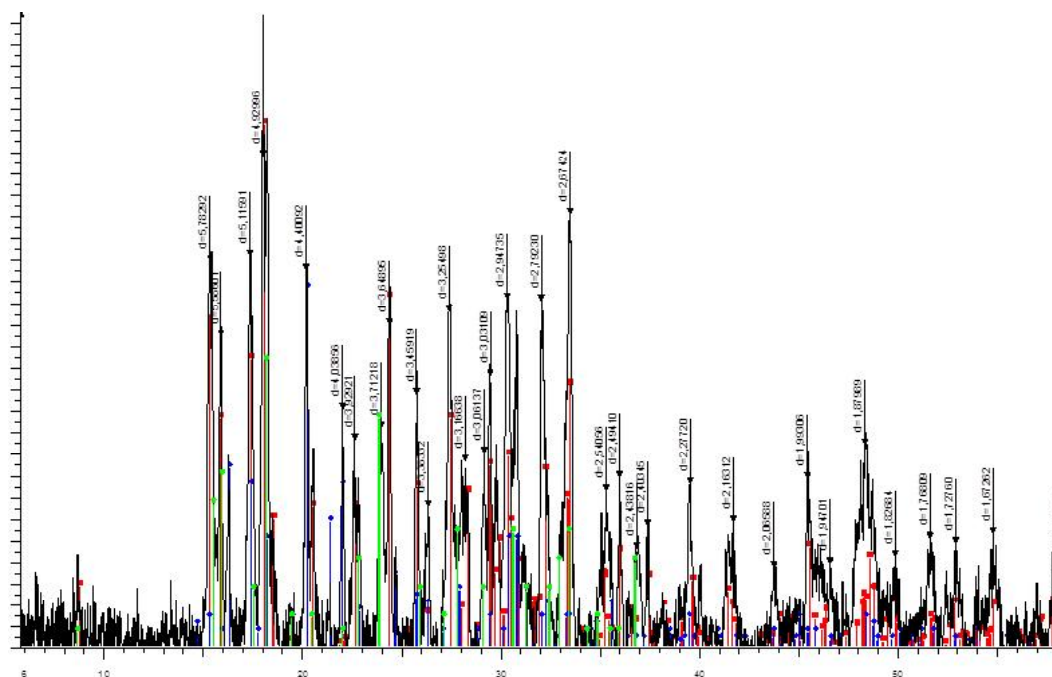


Рис. 11. Дифрактограмма пробы КЛЧ–СМО–06 (I) (состав пробы: красным цветом показано присутствие гексагидрита; синим – пентагидрита; зеленым – сидеротила)

Fig. 11. Diffraction pattern of sample KLCh–SMO–06(I) (sample composition: red color shows the presence of hexahydrate, blue – pentahydrate, green – siderotil)

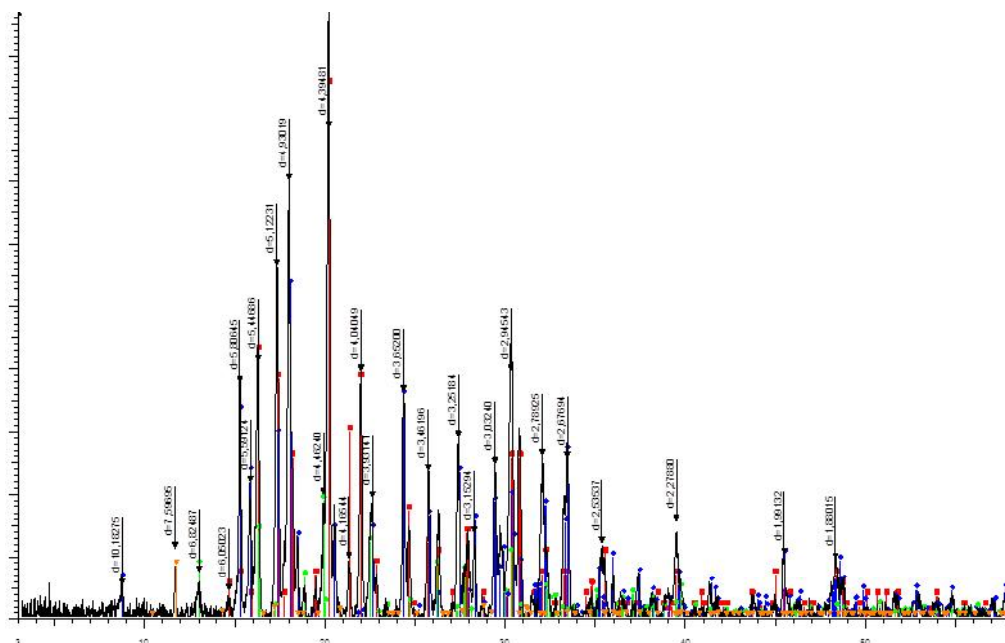


Рис. 12. Дифрактограмма пробы КЛЧ–СМО–06 (II) (состав пробы: красным цветом показано присутствие гексагидрита; синим – пентагидрита; зеленым – старкиита; оранжевым – гипса)

Fig. 12. Diffraction pattern of sample KLCh–SMO–06(II) (sample composition: red color shows the presence of hexahydrate, blue – pentahydrate, green – starkeyite, orange – gypsum)

Результаты исследования химического состава минералов представлены в табл. 3, включающей выраженные в массовых про-

центах количественные содержания катионов металлов, сульфат-ионов, молекул воды и нерастворимого остатка.

Таблица 3 / Table 3

Состав исследуемых минеральных ассоциаций, %/
Composition of the studied mineral associations, %

Проба/Sample	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	H ₂ O	SO ₄ ²⁻	Fe ²⁺	Нераствори- мый остаток/ Insoluble residue
ШГ-07/164/ ShG-07/164	0,8756	17,0234	–	8,3605	31,2200	26,9760	2,5308	13,0137
ШГ-08/185/ ShG-08/185	0,2032	23,5032	–	0,0658	32,9400	21,2291	15,5155	6,5432
КЛЧ-СМО-06 (I)/ KLCh-SMO-06 (I)	0,1819	5,1897	9,6569	0,1484	38,8100	34,0517	1,1922	10,7692
КЛЧ-СМО-06 (II)/ KLCh-SMO-06 (II)	0,0953	0,3164	8,5412	0,0824	47,3900	37,5969	0,5296	3, 8456

Согласно данным табл. 3, основу образцов КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II) составляют катионы металлов меди и магния, причем содержание Mg²⁺ значительно преобладает, что также подтверждает рентгеноструктурный анализ, идентифицировавший сульфаты магния (гексагидрит, пентагидрит, старкеит). Для проб ШГ-07/164 и ШГ-08/185 преобладающим металлом является медь (рентгеноструктурный анализ установил сидеротил и халькантит). В сумме содержание всех компонентов должно равняться 100 %, однако, согласно рентгеноструктурному анализу и литературным данным [2; 4; 5; 9], в исследуемых минералах могут присутствовать также катионы двухвалентного железа, содержание которого определено расчетным путем.

Выводы. Проведен комплексный анализ изучаемых минералов физико-химическими методами, определен химический состав. На основании проделанного исследования можно сделать следующие выводы.

1. На основе использования иммерсионного метода диагностированы минеральные виды, слагающие тонкозернистые полиминеральные агрегаты.

2. С помощью методов ААС и турбидиметрии определен химический состав исследуемых минералов. Установлено, что в пробах КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II) преобладают сульфаты магния, незначительна примесь Ca²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ и Fe²⁺; для пробы ШГ-07/164 установлено повышенное содержание Cu и Zn, что свидетельствует о присутствии в пробе сульфатов этих металлов, в частности, сидеротила, халькантита и сернокислых солей меди, также выявлены примеси Fe²⁺, Ca²⁺ и Zn²⁺; в пробе ШГ-08/185 обнаружено повышенное содержание Cu²⁺ и Fe²⁺, содержание других катионов металлов незначительно.

3. Исследование методами термического анализа и инфракрасной спектроскопии показало, что исследуемые минералы относятся к подклассу водных солей серной кислоты.

4. Рентгеноструктурный анализ позволил надежно идентифицировать видовой состав изученных минеральных агрегатов. Установлено, что пробы КЛЧ-СМО-06 (I) и КЛЧ-СМО-06 (II) состоят из эпсомита, гексагидрита, пентагидрита, старкиита, примесей гипса и кварца. В пробе КЛЧ-СМО-06 (I) обнаружены также халькан-

тит, сульфат меди и железа – сидерит. В образцах ШГ-07/164 и ШГ-08/185 идентифицированы халькантит, сидерит, бойлеит с примесями гипса и кварца. Выявлены сульфаты одного и того же металла с различным числом молекул кристаллогидратной воды: эпсомит ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), гексагидрит ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), пентагидрит ($\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), старкиит ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

5. Одной из важных нерешенных проблем изучения тонкозернистых и тонкодисперсных минеральных ассоциаций в зоне гипергенеза остается последовательность выделения сульфатов двухвалентных металлов из растворов в природных условиях и образование их сульфатов с переменным числом молекул кристаллогидратной воды.

Список литературы

1. Белогуб Е. В., Щербаклова Е. П., Никандрова Н. К. Сульфаты Урала. Миасс: УрО РАН, 2005. 128 с.
2. Еремин О. В., Русаль О. С., Эпова Е. С., Юргенсон Г. А. Особенности химического состава новообразований минералов Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения // Минералогия техногенеза. 2015. № 16. С. 204–208.
3. Иванова В. П., Касатов Б. К., Красавина Т. Н., Розина Е. Л. Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 1974. 399 с.
4. Касаткин А. В., Клопотов К. И., Плашил Я. Гипергенные минералы Шерловой горы // Минералогический альманах. 2014. Т. 19. № 2. С. 94–137.
5. Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов (WWW-МИНКРИСТ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.database.iem.ac.ru/mincryst/rus/> (дата обращения: 04.07.2017).
6. ПНД Ф 14.1:2:4.137-98 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций магния, кальция и стронция в питьевых, природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектрометрии. М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 2009. 21 с.
7. ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии. М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 2010. 24 с.
8. Тарасевич Б. Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии. М.: Изд-во МГУ, 2012. 22 с.
9. Yurgenson G. A., Kononov O. V. Sherlova Gora: a deposit for Gemstones and Rare Metals // Mineralogical Almanac. 2014. V. 19. Issue 2. P. 12–93.

References

1. Belogub E. V., Shcherbakova E. P., Nikandrova N. K. *Sulfaty Urala* [Sulfates of the Urals]. Miass: UrO RAN, 2005. 128 p.
2. Eremin O. V., Rusal O. S., Epova E. S., Yurgenson G. A. *Mineralogiya tehnogeneza* (Mineralogy of technogenesis), 2015, no. 16, pp. 204–208.
3. Ivanova V. P., Kasatov B. K., Krasavina T. N., Rozinova E. L. *Termicheskiy analiz mineralov i gornyyh porod* [Thermal analysis of minerals and rocks]. Leningrad: Nedra, 1974. 399 p.
4. Kasatkin A. V., Klopotov K. I., Plashil Ya. *Mineralogicheskiy almanah* (Mineralogical almanac), 2014, vol. 19, no. 2, pp. 94–137.
5. *Kristallograficheskaya i kristallohimicheskaya baza dannyh dlya mineralov i ih strukturnyyh analogov* (Crystallographic and crystallochemical database of data for minerals and their structural analogues) Available at: <http://www.database.iem.ac.ru/mincryst/rus/> (Date of access: 07.04.2017).
6. *PND F 14.1:2:4.137-98 Kolichestvennyy himicheskyy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy magniya, kaltsiya i strontsiya v pitevykh, prirodnykh i stochnykh vodah metodom atomno-absorbtsionnoy spektrometrii* [HDPE F 14.1: 2: 4.137-98 Quantitative chemical analysis of waters. Method for performing measurements of mass concentrations of magnesium, calcium and strontium in drinking, natural and waste waters by atomic absorption spectrometry]. Moscow: Gos. Committee of the Russian Federation for Environmental Protection, 2009. 21 p.
7. *PND F 14.1:2:4.139-98 Kolichestvennyy himicheskyy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy zheleza, kobalta, margantsa, medi, nikelya, srebra, hroma i tsinka v probah pitevykh*,

prirodnih i stochnykh vod metodom atomno-absorbtsionnoy spektrometrii [HDPE F 14.1: 2: 4.139-98 Quantitative chemical analysis of waters. Method for performing measurements of mass concentrations of iron, cobalt, manganese, copper, nickel, silver, chromium and zinc in drinking, natural and waste water samples by atomic absorption spectrometry]. Moscow: Gos. Committee of the Russian Federation for Environmental Protection, 2010. 24 p.

8. Tarasevich B. N. *Osnovy IK spektroskopii s preobrazovaniem Furie. Podgotovka prob v IK spektroskopii* [Fundamentals of IR spectroscopy with Fourier transform. Preparation of samples in IR spectroscopy]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2012. 22 p.

9. Yurgenson G. A., Kononov O. V. *Mineralogical Almanac* (Mineralogical Almanac), 2014, vol. 19, issue 2, pp. 12–93.

Коротко об авторах

Юргенсон Георгий Александрович, д-р геол.-минерал. наук, зав. лабораторией геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, профессор кафедры «Химия», Забайкальский государственный университет, заслуженный деятель науки РФ, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералогия, геохимия, рудогенез, геммология
yurgga@mail.ru

Макарова Ксения Александровна, химик-лаборант инструментального отдела лаборатории компании «SGS Восток Лимитед», г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералогия, геохимия
humanoid483_1989@mail.ru

Кузнецова Надежда Сергеевна, канд. биол. наук, доцент кафедры «Химия», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: биохимия, биологически активные вещества, медицинская химия
kns2702@yandex.ru

Briefly about the authors

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

Ksenya Makarova, chemist-laboratory assistant of the instrument department of the laboratory of «SGS Vostok Limited», Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy, geochemistry

Nadeghda Kuznetsova, candidate of biological sciences, assistant professor, Chemistry department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: biochemistry, biologically active substances, medical chemistry

Образец цитирования

Юргенсон Г. А., Макарова К. А., Кузнецова Н. С. Опыт исследования тонкозернистых минеральных агрегатов зоны гипергенеза месторождений Забайкалья физико-химическими методами // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 7. С. 51–63. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-7-51-63.

Yurgenson G., Makarova K., Kuznetsova N. Experience of fine-grained mineral aggregates investigation of the hypergenesis zone of the Transbaikal deposits by physical-chemical methods // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 7, pp. 51–63. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-7-51-63.

Дата поступления статьи: 04.07.2017 г.
Дата опубликования статьи: 31.07.2017 г.

