

**С.С. Потапов, Н.В. Паршина,
*Е.П. Базарова, **Н.Г. Максимович**
Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск
**Естественнонаучный институт ПГУ, г. Пермь

НАХОДКА КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ СУЛЬФАТОВ ЖЕЛЕЗА И МАГНИЯ – РОЦЕНИТА, СТАРКИИТА И ЭПСОМИТА В ПЕЩЕРЕ- РУДНИКЕ КОН-И-ГУТ (АЗИАТСКАЯ ПАТАГОНИЯ)

Впервые для пещеры-рудника Кон-и-Гут охарактеризованы гидратированные сульфаты железа и магния – роценит, старкиит и эпсомит. Эти минералы являются продуктами сернокислотного процесса за счет окисления первичных сульфидных руд, образования серной кислоты, взаимодействия её с породным субстратом и переотложением новых эфемерных минеральных фаз на испарительном барьере.

Ключевые слова роценит, старкиит, эпсомит, пещера-рудник Кон-и-Гут

В апреле-мае 2006 г. один из авторов при финансовой поддержке лаборатории геологии техногенных процессов ЕНИ принимал участие в международной экспедиции по исследованию пещер Тянь-Шаня, которая была организована Фондом сохранения и исследования пещер Кыргызстана при участии специалистов и при поддержке Центрально-Азиатского института исследования Земли (ЦАИИЗ – филиал Потсдамского института в г. Бишкек), Международного трекинг-центра «Горы Азии», фирмы «Эдельвейс», Кыргызской академии наук и фирмы «Даана-2». Одним из главных объектов исследования была пещера-рудник Кон-и-Гут (это историческое название; в современных публикациях пишут Кан-и-Гут), расположенная в Баткенской области на юго-западе Кыргызстана в Азиатской Патагонии [2]. В переводе название означает Рудник Погибели и отражает трагическую судьбу людей, добывающих серебряную и свинцовую руду.

В апреле 2014 г. с целью комплексного изучения пещеры-рудника состоялась очередная научно-исследовательская международная экспедиция под руководством В.В. Цибанова (Спелеоклуб МГУ, Москва, Россия) [4] и А.Г. Филиппова (Karst Research Inc., Эйрдри, Канада) [3], в которой приняла участие Е.П. Базарова.

Пещера-рудник Кон-и-Гут представляет собой сложный лабиринт естественных карстовых полостей и искусственных горных выработок на разных горизонтах (рис. 1) [6].

Как правильно отметила Е.П. Базарова, «несмотря на долгую историю исследования этого объекта, публикации и отчеты по геологии пещеры-рудника касаются минералогии и химического состава руд, вмещающих известняков и жильных образований, наблюдаемых в пещере-руднике, но практически не затрагивают собственно пещерные минералы и слагаемые ими спелеотемы» [1]. Совокупная информации о минералах пещеры-рудника по литературным данным представлена в статье С.С. Потапова [2]. Из 35 генетически различных минералов пещеры-рудника гипергенные насчитывают с десяток минералов: гётит, пиролюзит, псиломелан-вад, гидрогематит, ярозит, ковеллин, малахит, церуссит, ангидрит.

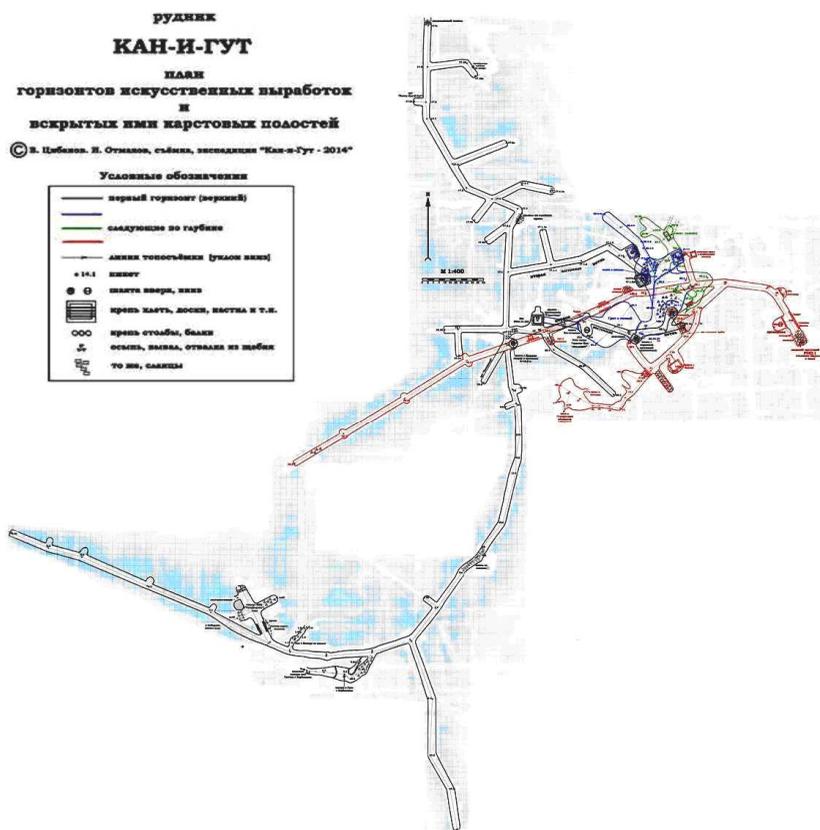


Рис. 1. План горизонтов искусственных выработок и карстовых полостей пещеры-рудника Кон-и-Гут. Топосъемка экспедиции апреля 2014 года В. Цибакова и И. Отмахова [6].

В результате изучения ряда минеральных образцов пещеры Е.П. Базарова подготовила статью о находке в пещере-руднике Кон-и-Гут редкого пещерного минерала роценита и некоторых обнаруженных совместно с ним минералов, в частности, мелантерита, ярозита, старкиита, каинита [1]. Как отмечает автор, определение минерального состава образцов проводилось в Институте земной коры СО РАН в г. Иркутске методом рентгенофазового анализа З.Ф. Ущиповской. Не подвергая сомнению достоверность рентгенометрической диагностики минеральных фаз, отметим все же, что в статье следовало бы привести фактурные рентгеновские данные по редким минеральным фазам. По предварительной договоренности Е.П. Базарова предоставила нам дубликаты образцов минералов (табл. 1), для которых проведен рентгенофазовый анализ в Институте минералогии УрО РАН на дифрактометре ДРОН-2.0, CuK_α -излучение (оператор Е.Д. Зенович).

В дополнение к минералогии пещеры-рудника Кон-и-Гут следут отметить недавно вышедшую публикацию В. Цилека и Я. Громаса [5], где авторы приводят краткое описание минерального состава сталактита. Центр спелеотемы сложен кальцитом и опалом, на него нарастают арагонитовые иголки. Поверхность сталактита местами покрыта кальцитом, на поверхности были выявлены кристаллы гемиморфита размером до 1 мм, содержащие небольшие количества Mn и Cu. Нашими исследованиями (табл. 1) подтверждена диагностика описываемых Е.П. Базаровой [1] роценита и старкиита, отмечено широкое развитие гипса, наличие двух полиморфных фаз карбоната кальция – кальцита и арагонита и впервые для пещеры нами установлен эпсомит.

Водный сульфат железа роценит $\text{FeSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$ в пещере Кон-и-Гут слагает антолиты, прослой в рыхлых отложениях и настенные коры. Антолиты размером до нескольких сантиметров имеют голубовато-зеленую окраску и растут из общего центра, подобно классическим гипсовым цветам (рис. 2). Из-за такой формы эти минеральные образования вначале были приняты за гипсовые необычной окраски. При высыхании антолиты белели и становились хрупкими, но приобретали прежнюю окраску при намокании. Рентгенограмма роценита из пещеры представлена в таблице 2. Возможно, что протоминералом роценита мог быть мелантерит $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, который мог трансформироваться в роценит за счет дегидратации. Но с учетом относительной «сухости» пещеры роценит мог кристаллизоваться и как первичный минерал. Фазой дегидратации роценита является ссомольнокит $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$. Но за полгода хранения образцов роценита в лабораторных условиях такого перехода не произошло. В тесной ассоциации с роценитом встречается старкиит $\text{MgSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$ (см. табл. 2).



Рис. 2. Роценит $\text{FeSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$ в пещере Кон-и-Гут часто образует антолиты (минеральные цветы) характерного голубовато-зелёного цвета

Таблица 1

Минеральные образцы пещеры-рудника Кон-и-Гут

№ образ	Место отбора образца	Описание	Минеральный состав
64/14-3	Штольня третьего уровня, из кучи рыхлых отложений	Прожилок белого гипса-селенита	Гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
64/14-4	Штольня третьего уровня, из кучи рыхлых отложений	Зеленовато-голубые и белые антолиты	Роценит $\text{FeSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$, старкиит $\text{MgSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$
65/14	со стены на высоте 1.5 м от пола, где отобраны предыдущие образцы 64/14-3, 64/14-4	Белые (белоснежные) плотные настенные коры	Эпсомит $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
73/14	Естественная часть пещеры примерно в 15 м ниже штольни нулевого уровня, идущей от Главного входа	Белые плотные минеральные образования с темным пылеватым налётом	Гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, арагонит CaCO_3
75/14	Первая пропасть	Темно-серый комок	Кальцит CaCO_3
99/14-1	Вторая пропасть	Волокнистый агрегат с длиной волокон до 10 см	Эпсомит $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
99/14-2	Вторая пропасть	Волосовидный агрегат, напоминающий пух, длиной до первых сантиметров	Эпсомит $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$

Таблица 2

Фрагмент рентгенограммы пробы 64/14-4 из пещеры Кон-и-Гут (1)
и эталонных роценита $\text{FeSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$ (2) и старкиита $\text{MgSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$ (3)

1		2 (JCPDS, 16-699)			3 (JCPDS, 14-632)		
d, Å	I	d, Å	I	hkl	d, Å	I	hkl
6.861	22	6.85	50	011,020	6.9	40	020,011
5.534	12	-	-	-	5.5	60	110
5.453	70	5.46	90	110	-	-	-
5.162	5	5.17	5	021	-	-	-
4.736	15	4.73	10	101	4.71	25	101
4.478	100	4.47	100	111,120	4.48	100	120, $\bar{1}$ 11
3.976	63	3.97	70	002	3.96	60	002
3.605	11	3.61	10	130	3.60	8	130
3.4	58	3.40	60	040	3.40	30	040,022
3.279	22	3.27	10	131	-	-	-
3.225	44	3.22	50	$\bar{1}$ 12	3.21	40	$\bar{1}$ 12
2.984	31	2.985	40	032	-	-	-
2.958	40	2.953	50	140	2.95	100	200,122+
2.908	7	2.906	5	210	-	-	-
2.767	10	2.770	10	$\bar{1}$ 41	2.75	40	141
2.723	10	2.722	10	220,211	-	-	-
2.663	8	2.673	5	$\bar{1}$ 32	-	-	-



Рис. 3. Эпсомит $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ в пещере Кон-и-Гут образует белые с шелковистым блеском волокнистые, волосовидные или пухоподобные агрегаты

Таблица 3

Рентгенограмма пробы 65/14 из пещеры Кон-и-Гут (1)
и эталонного эпсомита $MgSO_4 \times 7H_2O$ (2)

1		2 (JCPDS, 8-467)		
d, Å	I	d, Å	I	hkl
7.608	1	-	-	-
6.008	23	5.99	20	020
5.361	44	5.35	25	120
4.487	5	4.48	14	201
4.22	100	4.21	100	121
3.791	22	3.79	14	130
3.761	15	3.76	8	310
3.457	5	3.453	16	031
3.307	3	3.304	4	320
2.998	4	3.000	14	040
2.976	6	2.97	14	022
2.883	32	2.880	30	410,212
2.813	6	2.812	2	330
2.749	10	2.748	14	041
2.676	16	2.677	25	240
2.659	22	2.659	20	420
2.486	1	2.482	<1	421
2.39	6	2.389	6	340
2.352	1	2.352	<1	150
2.256	2	2.258	6	042
2.224	4	2.229	4	250,151
2.206	7	2.206	12	113,412
2.108	0	2.110	4	440,242
2.043	4	2.040	2	530
2.016	1	2.017	4	441
1.957	2	1.955	4	432,531
1.896	4	1.894	2	260,161
1.88	1	1.882	2	233
1.862	5	1.861	2	540
1.813	1	1.826	<1	261
1.799	1	1.799	4	451

Водный сульфат магния эпсомит $MgSO_4 \times 7H_2O$ в пещере Кон-и-Гут образует белые с шелковистым блеском волокнистые, волосовидные или пухоподобные агрегаты с длиной волокон до 10 см (рис. 3). В ассоциации с эпсомитом в небольших количествах всегда встречается гипс. На рентгенограмме эпсомита из пещеры гипсу соответствует линия 7.608 Å (табл. 3).

Нашими исследованиями подтверждена диагностика описанных Е.П. Базаровой роценита и старкиита. Кроме того, отмечено широкое развитие гипса, наличие кальцита и арагонита, и впервые для пещеры – эпсомита. Находка гидратированной двойной соли магния и калия – каинита $MgSO_4 \cdot xKCl \cdot 3H_2O$ пока не подтверждена. Видимо, каинита просто не оказалось в изучавшихся нами пробах. Таким образом, гидратированные сульфаты железа и магния – роценит, старкиит и эпсомит для пещеры-рудника Кон-и-Гут являются, по-видимому, первыми находками. Установленные кристаллогидраты являются продуктами окисления первичных сульфидных руд, образования серной кислоты, взаимодействия её с породным субстратом и перетолжением новых эфемерных минеральных фаз на испарительном барьере.

Авторы благодарны оператору Е.Д. Зенович за оперативную съемку рентгенограмм; В.В. Цибанову и А.Г. Филиппову за организацию экспедиции.

Библиографический список

1. Базарова Е.П. Роценитовая минерализация в пещере-руднике Кан-и-Гут (Кыргызстан) // Пятнадцатые всеросс. науч. чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. С. 71-75.
2. Потанов С.С. Средневековая пещера-рудник Кон-и-Гут (Кыргызстан) // Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе. Докл. 9-й студ. конф. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2006. С. 81-85.
3. Филиппов А.Г., Цибанов В.В. Наброски к истории исследования пещеры-рудника Кан-и-Гут // Спелеология и спелестология. Сб. матер. III междунар. науч. конф. Набережные Челны: НИСПТР, 2012. С. 43-49.
4. Цибанов В.В. Кан-и-Гут: «Рудник гибели» ждёт исследователей // Минералогия техногенеза-2009. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 188-202.
5. Цилек В., Громас Я. Гемиморфит, лимонит и арагонит из пещеры Кан-и-Гут в Ферганской долине // Спелеология и спелестология. Сб. матер. IV междунар. науч. конф. Набережные Челны: НИСПТР, 2013. С. 54-55.
6. <http://kani-gut.narod.ru/images/hor-2014.jpg>

THE FIND OF IRON AND MAGNESIUM SULPHATES CRYSTALOHYDRATES – ROZENITE, STARKEYITE AND EPSOMITE IN KON-I-GUT MINE-CAVE (ASIAN PATAGONIA)

Potapov S.S., Parshina N.V., Bazarova E.P., Maximovich N.G.

spot@ilmeny.ac.ru

We were diagnosed iron and magnesium sulphates crystalohydrates – rozenite, starkeyite and epsomite in Kon-i-Gut mine-cave in the first-time. These minerals are ephemeral and products sulfuric acid process due to oxidation of primary sulfide ores, formation of sulfuric acid, its interaction with the rock substrate and redeposition ephemeral new mineral phases in the evaporator barrier.

Keywords: rozenite, starkeyite, epsomite, Kon-i-Gut mine-cave