

## НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ И КРИОГЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В ОКТЯБРЬСКИХ ПЕЩЕРАХ. ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*С. С. Потапов<sup>1</sup>, А. Т. Титов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс,  
spot@netserv1.ilmeny.ac.ru*

<sup>2</sup> – *Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск,  
titov@uiggm.nsc.ru*

Настоящие исследования проведены в рамках относительно новых и слабо разработанных направлений минералогической науки – спелеоминералогии и криоминералогенеза [Потапов и др., 2006]. Изучены современные минеральные образования в Кунгурской и Октябрьских пещерах на Среднем Урале. В Кунгурской ледяной пещере материал отбирался лично С. С. Потаповым. Минеральные образования из Октябрьских пещер предоставлены О. И. Кадебской (Горный институт УрО РАН, г. Пермь).

Предварительно был проведен рентгенофазовый анализ минералов на дифрактометре ДРОН-2.0;  $\text{CuK}\alpha$ -излучение (лаборатория ИМин УрО РАН, оператор Т. М. Рябухина). Изучение морфологии спелеоминералов проведено с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO1430VP. СЭМ-исследование основывается на использовании эффективного взаимодействия с веществом электронов, ускоренных напряжением до 30 кВ и сфокусированных электро-магнитными линзами. Минеральные образования наносились на двусторонний угольный токопроводящий скотч. Для просмотра в сканирующем электронном микроскопе производилось их напыление золотом. Поскольку при просмотре в электронном микроскопе порошковых материалов происходит смещение отдельных кристалликов и, соответственно, нарушение сплошности токопроводящей плёнки золота, съёмка во вторичных электронах становилась невозможной из-за электрической зарядки образца. Поэтому съёмка была проведена в режиме обратно-рассеянных электронов, который менее чувствителен к зарядке. При съёмке в режиме обратно-рассеянных электронов детектируются первично ускоренные электроны, рассеянные на ядрах атомов, составляющих исследуемое вещество. При этом детектируются электроны, рассеянные под углом, близким к  $180^\circ$  к направлению первичного тока ускоренных электронов. Настоящий режим съёмки чувствителен к атомным номерам элементов ( $Z$ ), входящих в состав исследуемого вещества, и позволяет наблюдать неоднородности химического (фазового) состава по площади сканирования. Всего получено 6 снимков сезонных минеральных образований из Кунгурской ледяной пещеры и 7 СЭМ-изображений общего вида, деталей строения кристаллических агрегатов одной пробы криогенных образований (так называемой «горной муки») из Октябрьских пещер.

Эфемерные (сезонные) минералы в Кунгурской ледяной пещере отбирались нами в разное время, а именно, в марте 2006 г., в июле 2007 г. и в феврале 2008 г. [Potapov, 2008]. Как ни странно, для такого хорошо изученного объекта, как Кунгурская ледяная пещера, каждое новое опробование приносило принципиально новые, важные и значимые результаты. А именно, в 2006 г. при переходе из грота Колизей в грот Смелых впервые для пещеры был достоверно установлен мирабилит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ ; в 2007 г. в гроте Полярный опять же впервые для пещеры был диагностирован блёдит (астраханит)  $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ ; а в 2008 г. при ревизии находок эфемерных минералов в гроте Полярный нами было подтверждено предположение наших предшественников о возможности образования здесь мирабилита. Эфемерные минералы представляют собой пушистые белые спутанно-волокнистые образования с длиной

волокон до 15 мм, локализованные на почве, стенах и кровле пещеры в холодных гротах. Эти образования были герметично упакованы, до момента проведения анализа хранились в холодильнике, а в лабораторных условиях подготовлен их препарат с вазелином (во избежание дегидратации) для рентенофазового анализа. Интересно, что одинаковые по морфологии агрегатов минеральные образования с одного и того же места в гроте Полярный, но отобранные в разное время, сложены разными минеральными фазами – летом они представлены блёдитом  $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , а зимой – мирабилитом  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Т.е. эти образования являются типичными минералами-эфемерами, и в зависимости от сезона года трансформируются. Летом образуется сульфатная фаза, содержащая кроме  $\text{Na}^+$  еще и  $\text{Mg}^{2+}$ , что видимо, обусловлено большей растворимостью и способностью  $\text{Mg}^{2+}$  мигрировать в летний, более тёплый период года, тогда как зимой формируется только  $\text{Na}^+$ -содержащая фаза с большим количеством кристаллизационной воды в своём составе. Отметим, что находки и мирабилита, и блёдита для Кунгурской ледяной пещеры являются первыми. В ассоциации с этими минералами всегда присутствует гипс. При приготовлении препаратов на СЭМ-исследования эфемерные фазы исчезли, а гипс сохранился (рис. 1а-в).

При анализе СЭМ-фото криогенных минеральных образований из Октябрьских пещер не выявлено индукционных поверхностей совместного роста гипса со льдом. Следовательно, кристаллы росли в свободном пространстве жидкой фазы (воды). Таким образом, кристаллы и их сростки образовались не синхронно с кристаллизацией льда, а опережали его образование и лишь впоследствии консервировались кристаллизующимся льдом. Идеальных плоскогранных монокристаллов гипса в этой пробе практически нет. Чаще всего это адгезионные агрегаты, или агрегаты слипания (рис. 2а), цепочечные агрегаты и двойники парижского типа с двойникованием по плоскости  $\{10\bar{1}\}$  (рис. 2б) и сложные сферолитоподобные сростки (рис. 2в).

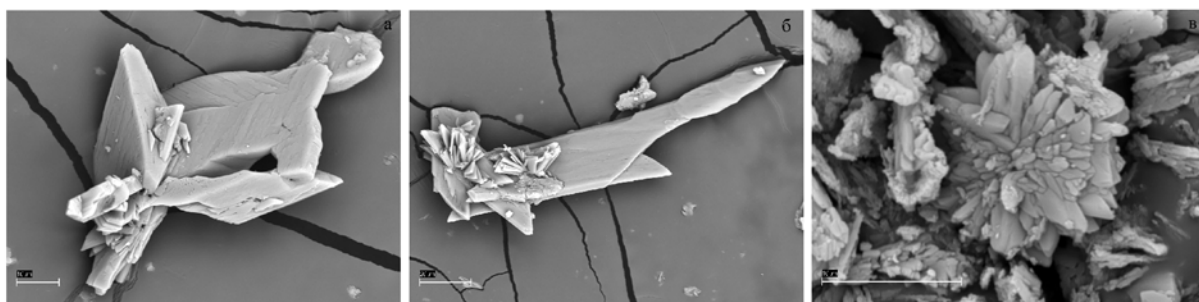


Рис. 1. СЭМ-фото кристаллов и сростков гипса, находившихся в ассоциации с эфемерными минералами – мирабилитом и блёдитом из Кунгурской ледяной пещеры:

а – плоскогранный кристалл гипса (слева), лежащий на двойнике типа «ласточкин хвост» (справа); б – парижский двойник гипса, с незакономерно наросшими на него кристаллами; в – сферолитовый сросток.

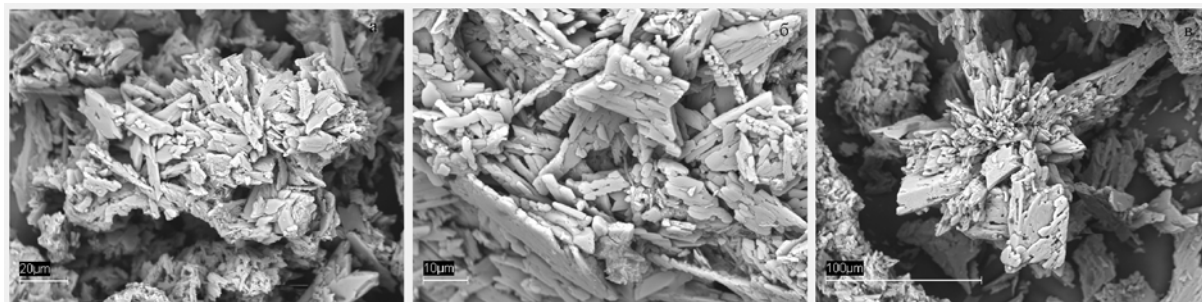


Рис. 2. СЭМ-фото криогенного гипса из Октябрьских пещер:

а – адгезионное агрегирование кристаллов гипса; б – цепочечные сростки и двойник гипса парижского типа; в – сферолитоподобный агрегат гипса.

Несмотря на различие форм кристаллических агрегатов гипса, в целом можно выделить следующие общие особенности, характерные для криогенных образований горной муки из Октябрьских пещер:

- адгезионное агрегирование;
- широкое развитие не плоскогранных, а скелетных кристаллов;
- наличие двойниковых кристаллов, преимущественно двойников парижского типа.

Все эти особенности отражают кинетический режим роста гипса при высоком пересыщении. Высокая скорость роста при криогенезе обусловлена падением температуры, приводящим к пересыщению пещерных вод, что приводит к быстрому спонтанному кристаллогенезу. Эффект этот можно назвать взрывной или шоковой кристаллизацией. То же самое мы отмечали ранее и для криогенного гипсообразования в пещерах Пинежья [Потапов и др., 2008].

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 07-05-00618 «Минералогия и экология пещер карбонатного и сульфатного карста Урала, природный и техногенный сталактитогенез».*

### Литература

*Потапов С. С., Паршина Н. В., Потапов Д. С., Кадебская О. И., Сивинских П. Н.* Спелео-минералогия (на примере Кунгурской ледяной пещеры) // Теория, история, философия и практика минералогии: Материалы IV Международного минералогического семинара. 17–20 мая 2006 г. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 71–74.

*Потапов С. С., Паршина Н. В., Титов А. Т., Ракин В. И., Низовский А. И., Шаврина Е. В., Кадебская О. И.* Криоминеральные образования пещер Пинежья // Минералогия техногенеза–2008. Миас: ИМин УрО РАН, 2008. С. 18–43.

*Potapov S.* Blödite  $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$  – first discovery of ephemeral mineral in Kungur ice cave. The history of discovery in connection with study of another ephemeral mineral – mirabilite // 3-rd International Workshop on Ice Caves. IWIC-III. Kungur Ice Cave, Perm Region, Russia. May 12–17, 2008 / Edited by Olga Kadebskaya. P. 65–68.