

ХАРАКТЕРИСТИКА НАЛЕДЕЙ И КРИОГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ В ПЕЩЕРАХ КУТУКСКОГО УРОЧИЩА (БАШКОРТОСТАН)

Кадебская Ольга Ивановна, кандидат географических наук, доцент, Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, 614007, Российская Федерация, г. Пермь, ул. Сибирская 78а, e-mail: icescave@bk.ru

Степанов Юрий Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, 614007, Российская Федерация, г. Пермь, ул. Сибирская 78а, e-mail: stepanov@mi-perm.ru

Проведено определение геометрических характеристик многолетних наледей при помощи георадара и выявление условий формирования криогенных минералов в пещерах Кутукского урочища. В пещерах Кутук-1, 2 и 4 присутствует многолетнее и сезонное оледенение, зимнее испарение наледей и летнее таяние льда приводит к накоплению в карстовых полостях специфического типа отложений – криогенной муки. Наибольшая мощность льда (3,5 м) отмечена в пещере Кутук-1. Криогенная мука сложена кальцитовыми корочками с ровной поверхностью основания, сформированными в тонкой пленке воды на поверхности наледи. Кристаллы кальцита достигают в длину 40–100 мкм и сложены гранями острого и тупого ромбоэдров. В пещере Кутук-2 в привходовой части пещеры отмечены агломераты, состоящие из криогенной муки и обломков породы. Таким образом, криогенные кристаллы в пещерах Кутукского урочища образуются в условиях быстрого заморозки растворов. Наличие плоских оснований у агрегатов кальцита дает основание предполагать, что накопившийся на поверхности наледи криогенный материал, высвобожденный при зимнем испарении льда, при взаимодействии с новой порцией поступившей воды вновь обрастает кальцитом. Наблюдаемые взаимоотношения отражают криогенно-диагенетическое изменение и обезвоживание первичного кристаллогидрата в процессе накопления ледяной массы. Агрегация криогенной муки и обломочного материала в пещере Кутук-2 происходила в водной пленке при положительных температурах во время таяния сезонного льда.

Ключевые слова: георадар (GPR), мощность льда, пещеры, Урал, криогенные минералы

CHARACTERISTICS ICE ACCUMULATION AND CRYOGENIC MINERALS IN CAVES KUTUK GROUND (BASHKORTOSTAN)

Kadebskaya Olga I., C.Sc. in Geography, Associate Professor, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 78a Sibirskaya st., Perm, 614007, Russian Federation, e-mail: icescave@bk.ru

Stepanov Yuriy I., C.Sc. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 78a Sibirskaya st., Perm, 614007, Russian Federation, e-mail: stepanov@mi-perm.ru

A definition of the geometric characteristics ice accumulation and using GPR detection of conditions for the formation of minerals in caves Kutuk ground. In the caves Kutuk 1, 2 and 4, there is a perennial and seasonal ice, evaporation of ice of winter, summer melting of ice leads to the accumulation in karst cavities of a specific type – cryogenic flour. Maximum capacity of ice (3,5 m) was recorded in a cave Kutuk-1. Cryogenic meal composed of calcite crusts with a flat base surface formed in a thin film of water on the ice surface. Calcite crystals reach 40–100 microns long and folded sharp and blunt rhombohedra. The cave Kutuk-2 of the cave marked agglomerates consisting of cryogenic flour and debris. Thus, cryogenic crystals in caves Kutuk ground form in the rapid freezing solutions. The presence of a flat base in units of calcite gives grounds to assume that the accumulated ice on the surface of the cryogenic material liberated during the winter evaporation of ice, when interacting

with a new portion of the incoming water again overgrown with calcite. Observed relationships reflect cryogenic diagenetic change and dehydration of the primary crystalline in the accumulation of ice mass. Aggregation cryogenic flour and debris in the cave Kutuk-2 occurred in the water film at positive temperatures during the melting of the seasonal ice.

Keywords: ground penetrating radar (GPR), the capacity of ice, caves, the Urals, cryogenic minerals

Уникальность изучения льда в пещерах заключается в характеристике и моделировании континентального климата и возможности прогнозирования его изменений. Пещерные льды более обогащены по сравнению с наземными льдами минеральным компонентом и предоставляют хорошие возможности для проведения соответствующих вещественных исследований. Скопления льда в пещерах Урала и формирующаяся при этом криогенная минерализация на сегодняшний день слабо изучена. Целью данных исследований было определение геометрических характеристик многолетних наледей при помощи георадара и выявление условий формирования криогенных минералов в пещерах Кутукского урочища. На территории республики Башкортостан ранее нами были проведены подобные работы в пещерах Киндерлинская (Победа) и Аскинская [7, 11].

Методика исследований. Георадиолокационная съемка проводилась в июне 2015 г. при помощи георадара «ОКО-М1» с антенной АБ-400 (центральная частота 400 МГц) по профилю от входа до центрального грота (рис. 1). Минеральная составляющая отбиралась с поверхности наледи. Исследование морфологии и химического состава минералов проводилось на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 LMN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350/X-max 20 в Горном институте УрО РАН (аналитики Е.П. Чиркова, О.В. Коротченкова).

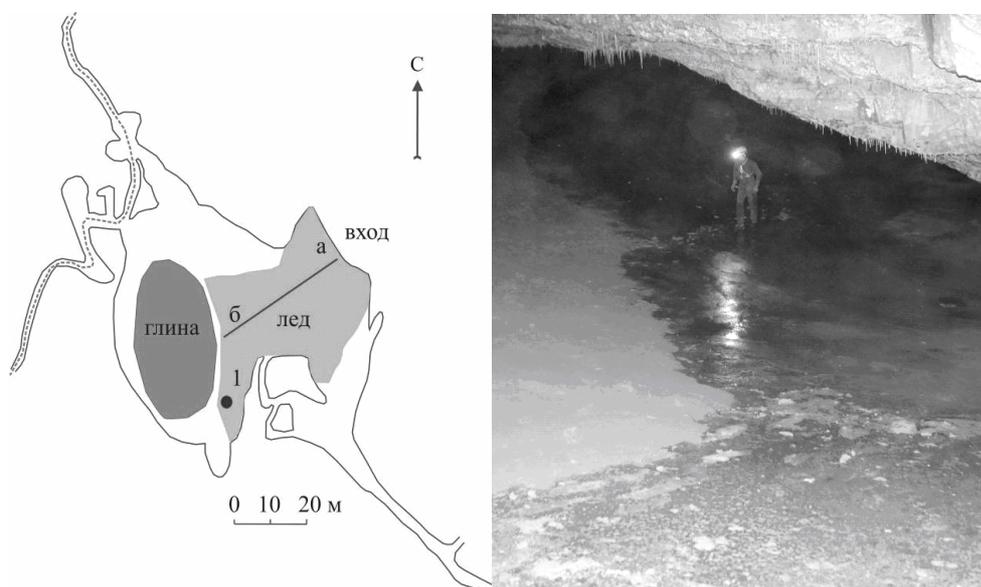


Рис. 1. Слева – расположение георадарного профиля (линия а-б) и место отбора пробы криогенной муки (1) в пещере Кутук-1 (план пещеры предоставлен А. И. Смирновым, съемка экспедиции БГУ, 1963 г.); справа – краевая часть многолетней наледи в центральном гроте

Общие сведения о пещерах. Пещеры, расположенные в Кутукском урочище, находятся в пределах Бельско-Нугушского междуречья между хребтами Ямантау и Кибиз, на западном склоне Южного Урала с абсолютными отметками высот до 610 м.

На сегодняшний день здесь открыто более 150 пещер [10], наибольшей по длине из которых является пещера Сумган (9860 м). В административном отношении пещеры расположены в Мелеузовском районе республики Башкортостан на территории Национального парка «Башкирия». Пещеры Кутукского урочища заложены в серых массивных известняках визейского яруса нижнего карбона и фаменского яруса верхнего девона [9].

Пещера Кутук-1. Пещера длиной 520 м представляет собой наклонную полость (угол основного хода 15–20°), по микроклиматической классификации – холодный «мешок» [4]. От входа к центральной части самого большого грота пещеры (размерами 50 на 70 м) протягивается покровная многолетняя наледь. В центре грота находится глинистая осыпь, местами промороженная, в краевой части наледи глина покрывает лед слоем до 0,5 м. В западной части пещеры находится узкий ход с ручьем.

От входа проведено георадарное обследование подземной наледи и отбор минеральных включений. Температура воздуха в центральном гроте составляла –0,2 °С.

Пещера Кутук-2 (Сталактитовая) представляет собой горизонтальный лабиринт коридорно-гrotового типа [10]. Ее длина составляет 2050 м. Многолетние наледи в пещере отсутствуют, но в зимний период в пещере формируется сезонное оледенение.

Границу распространения отрицательных температур в зимний период можно установить по наличию бугристых сталагмитов. Неровная поверхность сталагмитов формируется за счет изменения температурных условий: в летний период образуются нормальные натечные спелеотемы, а в зимний период вода замерзает в нижней части галереи. Вследствие этого ритмичное падение капель на сталагмиты прекращается, а натечные коры трескаются за счет замерзания воды (рис. 2).

Пещера Кутук-4 представляет собой меандровую галерею длиной более 1800 м и глубиной 155 м, в нижней части обводненную [4]. В привходовой части пещеры находится многолетняя наледь длиной более 250 м и шириной до 6 м. Образование наледи происходило из талой воды, поступающей в весеннее время преимущественно через вход. На поверхности наледи много глинистого материала, древесных остатков и крупных обломков известняка, поэтому проведение георадарной съемки в таких условиях невозможно. На участках, где лед не покрыт глиной, хорошо видна криогенная мука. В Главной галерее были отобраны три пробы криогенной муки: с поверхности многолетней наледи в зоне постоянных отрицательных температур, в краевой части наледи, в русле ручья ниже уступа на камнях в зоне сезонного оледенения (рис. 3).

Результаты исследований. По результатам георадарной съемки получен разрез покровной наледи в пещере Кутук-1 (рис. 4). Длина профиля составила 35 м. На рисунке хорошо прослеживается граница двух сред: лед – порода. Диэлектрическая проницаемость льда определена по годографам рефрагированных волн на радарограмме и равна 3,5 единицы. Видно плавное изменение ледяной толщи от первых десятков сантиметров в начале профиля, до трех с половиной метров в районе уступа и около 15 см в конце профиля.



Рис. 2. Бугристые сталагмиты в основной галерее пещеры Кутук-2 в 250 м от входа

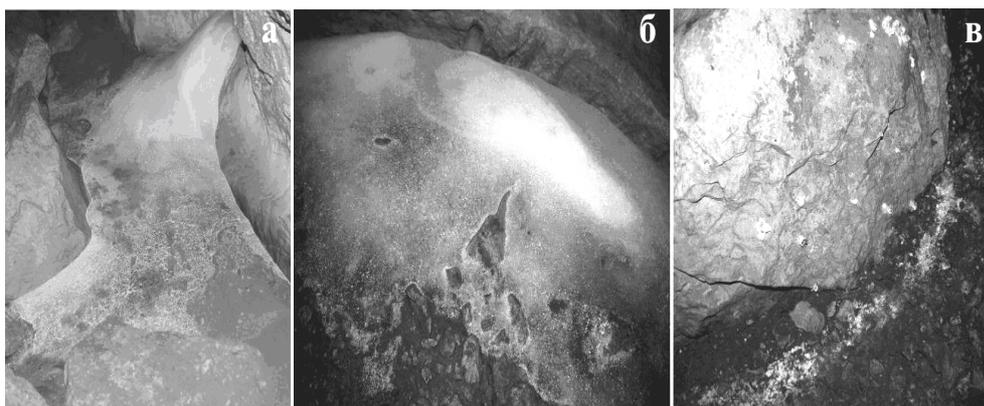


Рис. 3. Места отбора проб криогенной муки:

а – поступление воды из бокового канала; б – окончание наледи в Главной галерее; в – скопления криогенной муки, оставшейся после таяния льда в русле ручья и на камне в Главной галерее ниже уступа

На радарограмме выделяются участки в нижней части ледяного массива, которые содержат обломочный материал. Такие же зоны с обломочным материалом были установлены в пещере Медео (Северный Урал) [15]. Таким образом, наибольшая мощность льда находится ниже входного уступа в приходовой части пещеры и на момент обследования составляет 3,5 м.

Характеристика криоминеральных образований. Первое описание криогенной муки в России было проведено еще в 1733 г. И.Г. Гмелиным в Кунгурской Ледяной пещере. Он объяснил ее образование вымораживанием частичек гипса из воды. Позднее Е.С. Федоров в 1883 г. также посетил пещеру и провел наблюдения за образованием криоминералов [12]. Спустя столетие,

на мучнистые образования криогенного генезиса, снова обратил внимание В.Н. Андрейчук [3]. Современные электронно-микроскопические исследования позволили разработать методику изучения криоминеральных образований [1, 2, 14]. Кристаллы криогенных минералов на поверхности наледи накапливаются в зимний период при испарении льда (рис. 5-а), а в теплый период смачиваются за счет таяния льда и в некоторых случаях агрегируются и перекристаллизуются. В дальнейшем использование изотопии С и О карбонатов позволило выявить нам связать механизмы минералообразования с микроклиматическими зонами пещер и установить индикаторные отличия криогенных минералов [5, 6, 8, 14].

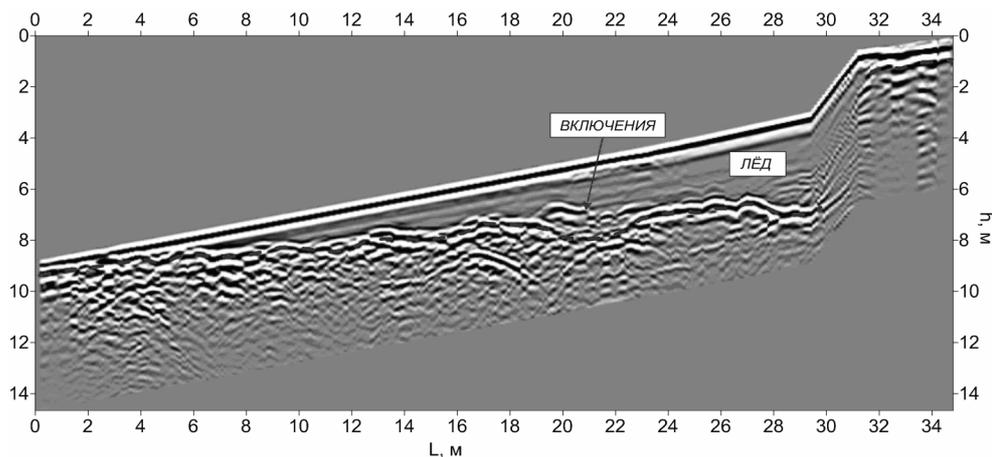


Рис. 4. Радарограмма наледи в пещере Кутук-1

Минералогические исследования криоматериала из наледи в пещере Кутук-1 показали, что минералы представлены кальцитом. В основном это корочки, которые имеют ровную поверхность основания, вероятнее всего, они образовались в тонкой пленке воды на поверхности льда (рис. 5-г, д). Также встречаются агрегаты, состоящие из каркасных и расщепленных кристаллов (рис. 5-в). Кристаллы кальцита достигают в длину 40 мкм, сложены гранями тупого и острого ромбоэдров, имеющими блочную поверхность (рис. 5-б).

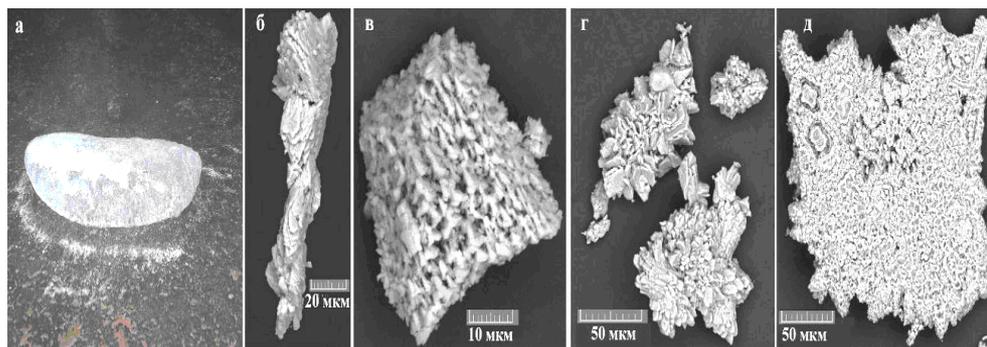


Рис. 5. Карбонатная мука в пещере Кутук-1:

а – место отбора пробы, в месте скопления криогенной муки после зимнего испарения льда; б – кристаллы кальцита с блочной поверхностью, в – каркасные агрегаты; г – корочки, состоящие из кристаллов кальцита с гранями тупого и острого ромбоэдров; д – ровная поверхность основания корочек

В пещере Кутук-2 криогенная мука была обнаружена в первом гроте пещеры на каменной осыпи. Она также как и в первой пещере представлена плоскими агрегатами кальцита (6-б, г). Кристаллы и их сростки, в основном, сложены гранями тупого и острого ромбоэдров, с блочной и гладкой поверхностью (рис. 6-а). Размер отдельных кристаллов достигает 120 мкм. Расщепление кристаллов и формирование цветочноподобных корочек (рис. 6-в) свидетельствует о пересыщенности замерзающих растворов в зимний период, а более крупный размер кристаллов кальцита косвенно характеризует более стабильные условия минералообразования.

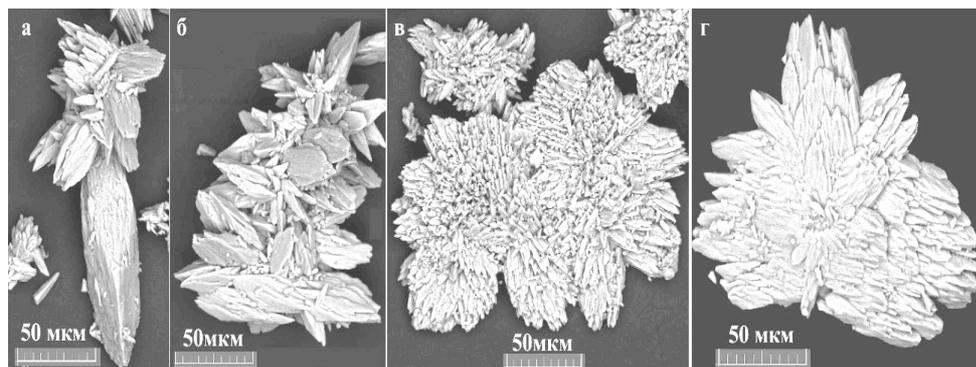


Рис. 6. Морфология агрегатов криогенного кальцита из пещеры Кутук-2

На уступе в местах скопления муки были найдены агломераты неправильной формы, состоящие из криогенного и обломочного материала. Формирование их происходит при таянии льда в теплый период года и агрегации мучнистого материала в комочки в тонкой пленке воды (рис. 7-б), некоторые комочки в дальнейшем обрастают друзовидной корочкой кальцита (рис. 7-а). Наибольший размер агломератов 5 мм.

В пещере Кутук-4 криогенная мука, в основном, состоит из крупных (до 2 мм) корочек, которые имеют ровную поверхность основания. Корочки состоят из мелких (до 5 мкм) плоских и сложенных гранями тупого и острого ромбоэдров кристаллов кальцита (рис. 8-в, г). Реже в муке встречаются сростки более крупных (до 100 мкм) кристаллов кальцита такой же морфологии (рис. 8-а, б).

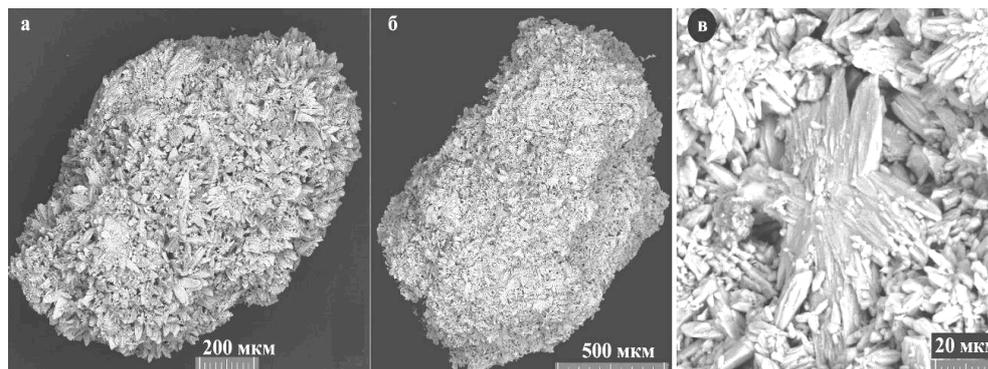


Рис. 7. Агломераты, состоящие из криогенных кристаллов, сростков и обломочного материала:

а – обросшие на поверхности кристаллами кальцита, б – новообразованный агломерат неправильной формы; в – детали строения поверхности этого агломерата

Наиболее распространенными являются корочки с видимыми зонами роста. На поверхности основания четко видны отдельные кристаллы, которые служили затравками и обрастали более поздними крупными ромбоэдрами (рис. 9-а).

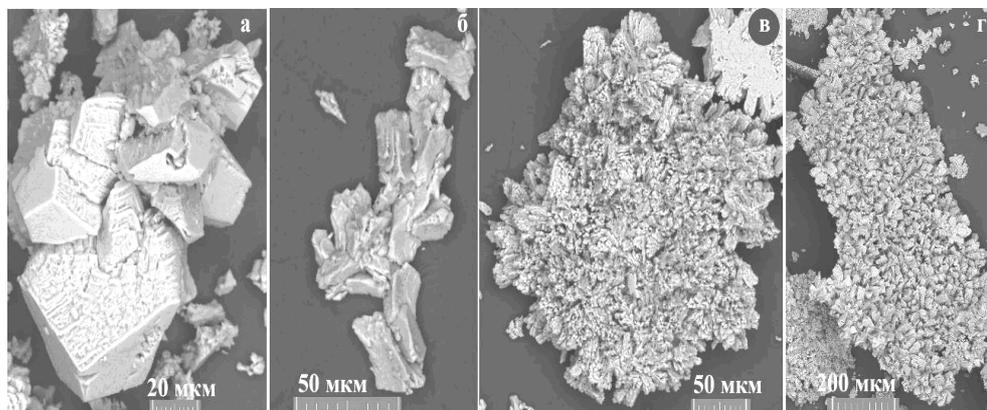


Рис. 8. Морфологические типы микрокристаллов кальцита из криогенной муки в пещере Кутук-4: а, б – крупные кристаллы кальцита; в, г – агрегаты-корочки

Встречаются также полые сферолитовые агрегаты (рис. 9-б). Элементы футляровидного строения позволяют предположить, что существующий кальцит образовался на ранее сформированном икаите и на момент исследования уже разложившемся. Реже встречаются корочки с коррозионными углублениями на гладкой поверхности (рис. 9-в).

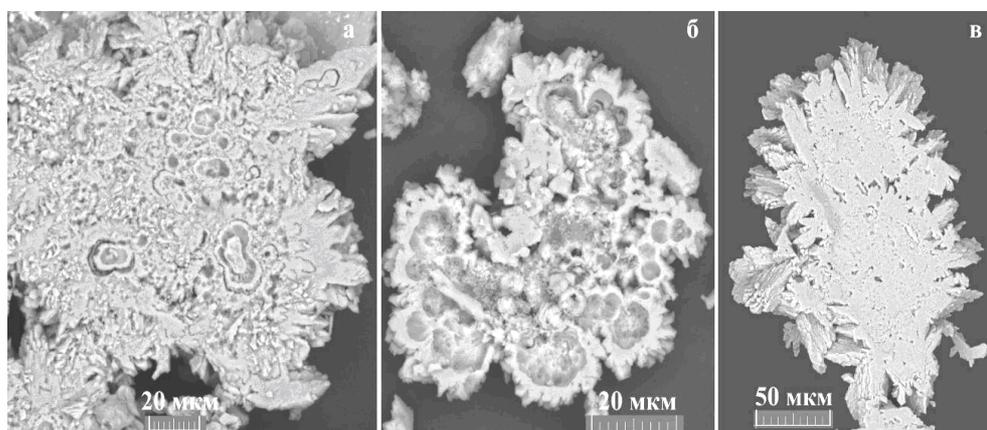


Рис. 9. Нижняя поверхность агрегатов-корочек: а – с видимыми зонами роста; б – состоящих из футляровидных апоикаитовых кристаллов; в – с коррозионными углублениями

В краевой части наледи среди муки встречен кальцит с примесью Mg и S. Морфологически эти образования также отличаются от основной массы криогенных корочек, в основном это ватообразные сферолиты (рис. 10-а, б), а также дендритовидные агрегаты (рис. 10-в, г).

Количество серы в криогенном кальците в краевой части наледи практически постоянно, а магния варьируется от 0 до 3,7 атомарных процентов (рис. 11).

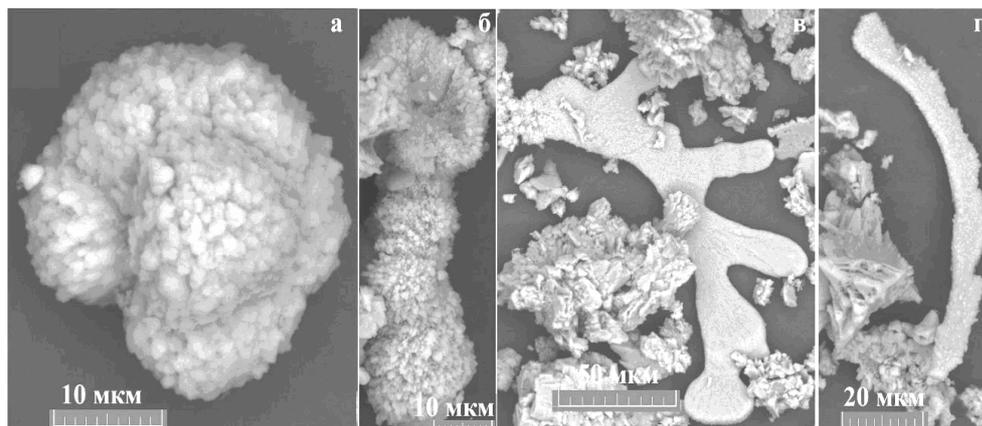


Рис. 10. Сферолиты (а, б) и дендритовидные агрегаты (в, г) кальцита с примесью Mg и S из криогенной муки пещеры Кутук-4

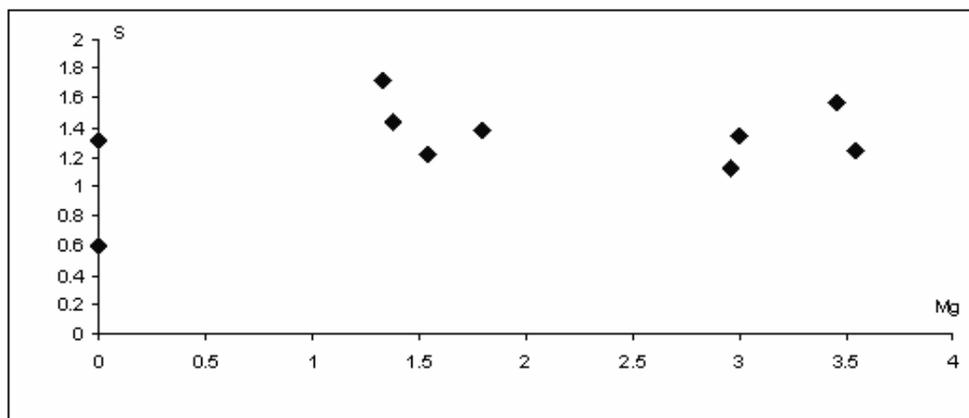


Рис. 11. Соотношение Mg и S в криогенном кальците (количество вещества в атом. %)

Выводы. Таким образом, в пещерах урочища Кутук формируется многолетнее и сезонное оледенение, что приводит к накоплению в карстовых полостях специфического типа отложений – криогенной муки. Наибольшая мощность льда (3,5 м) отмечена в пещере Кутук-1.

В пещерах Кутукского урочища криогенная мука сложена кальцитовыми корочками с ровной поверхностью основания, сформированными в тонкой пленке воды на поверхности наледи. Корочки сложены расщепленными кристаллами комбинации тупого и острого ромбоэдров с блочной и гладкой поверхностью. Их расщепление зависит от степени пересыщения раствора. В краевой части наледи в пещере Кутук-4 встречен кальцит с примесью Mg (до 3,7 атом. %) и S (до 1,8 атом. %). Морфологически эти образования также отличаются от основной массы корочек, в основном это ватообразные сферолиты и дендритоподобные агрегаты кальцита. В пещере Кутук-2 в привходовой части пещеры отмечены агломераты, состоящие из криогенной муки и обломков породы. В основном криогенные кристаллы формируются в условиях быстрого замерзания растворов. Наличие плоских оснований у агрегатов кальцита дает основание предполагать, что накопившийся на поверхности наледи криогенный материал, высвобожденный при зимнем испарении льда,

при взаимодействии с новой порцией поступившей воды вновь обрастает кальцитом. Наблюдаемые взаимоотношения отражают криогенно-диагенетическое изменение и обезвоживание первичного кристаллогидрата в процессе накопления ледяной массы. Агрегация криогенной муки и обломочного материала в пещере Кутук-2 происходила в водной пленке при положительных температурах во время таяния сезонного льда.

Список литературы

1. Андрейчук В. Н. Криогенные минеральные образования Кунгурской ледяной пещеры / В. Н. Андрейчук, Е. Галускин // Пещеры. – Пермь : Пермский государственный университет, 2001. – С. 115–118.
2. Андрейчук В. Н. Криогенные минеральные образования Кунгурской Ледяной пещеры / В. Н. Андрейчук, О. И. Кадебская, И. И. Чайковский. – Сосновец – Пермь : Силезский университет ; Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, 2013. – 128 с.
3. Андрейчук В. Н. Некоторые своеобразные отложения в Кунгурской пещере, связанные с ее оледенением / В. Н. Андрейчук // Минералы и отложения пещер и их практическое значение : тезисы докладов. – Пермь, 1989. – С. 22–23.
4. Богданович Е. Д. Кутукские пещеры / Е. Д. Богданович // Башкирия. Путеводитель. – Уфа, 1971. – С. 419–420.
5. Кадебская О. И. Криогенные образования карбонатных пещер Урала / О. И. Кадебская // Стратегия и процессы освоения георесурсов : сборник научных трудов. – 2012. – Вып. 10. – С. 13–15.
6. Кадебская О. И. Минералогическая и изотопная типизация карбонатных образований пещер Западного Урала / О. И. Кадебская, И. И. Чайковский // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении : научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – 2013. – Вып. 16. – С. 303–311.
7. Кадебская О. И. Минеральные образования пещеры Победа (Башкортостан), связанные с формированием и оттаиванием многолетнего льда / О. И. Кадебская, И. И. Чайковский // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2014. – № 3. – С. 66–72.
8. Кадебская О. И. Специфика крио- и минералообразования пещеры Медео (Северный Урал) / О. И. Кадебская, И. И. Чайковский // Пещеры : сборник научных трудов. – 2012. – Вып. 35. – С. 41–47.
9. Карст Башкортостана / Р. Ф. Абдрахманов и другие. – Уфа, 2002. – 382 с.
10. Мартин В. И. Пещеры Башкирии. / В. И. Мартин, А. И. Смирнов, Ю. В. Соколов // Пещеры. – Пермь, 1993. – С. 30–59.
11. Степанов Ю. И. Георадарные исследования подземных наледей в пещерах Урала / Ю. И. Степанов, А. А. Тайницкий, А. В. Кичигин // Комплексное использование и охрана подземных пространств : материалы Международной научно-практической конференции. – Пермь : Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, 2014. – С. 65–68.
12. Федоров Е. С. Заметка о Кунгурских пещерах / Е. С. Федоров // Материалы для геологии России. – 1883. – Т. XI. – С. 217–243.
13. Kadebskaya O. I. Cryogenic minerals of some ice caves of the Urals / O. I. Kadebskaya // Volume of abstracts IWIC-V International Workshop on ice caves. – Barzio (LC), Valsassina, Grigna and Milano, Italy, September 16–23, 2012. – P. 35.
14. Lacelle D. Seasonal isotopic imprint in moonmilk from Caverne de l'Ours (Quebec, Canada): implications for climatic reconstruction / D. Lacelle, B. Lauriol, I. D. Clark // Canadian Journal of Earth Sciences. – 2004. – Vol. 41. – P. 1411–1423.
15. Study of multiyear ice in Medeo cave (North Ural) / Y. I. Stepanov, et al. // 6th International workshop on ice caves : proceedings symposium 4. – Carlsbad : NCKRI Publ., 2014. – P. 25–30.

References

1. Andreychuk V. N., Galuskin E. Kriogennyye mineralnye obrazovaniya Kungurskoy ledyanoy peshchery [Cryogenic mineral formations Kungur Ice Cave]. *Peshchery* [Caves], Perm, Perm State University Publ. House, 2001, pp. 115–118.
2. Andreychuk V. N., Kadebskaya O. I., Chaykovsky I. I. *Kriogennyye mineralnye obrazovaniya Kungurskoy Ledyanoy peshchery* [Cryogenic mineral formations of Kungur Ice Cave], Sosnovets – Perm, University of Silesia Publ. House, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ. House, 2013. 128 p.

3. Andreychuk V. N. Nekotorye svoeobraznye otlozheniya v Kungurskoy peshchere, svyazannye s ee oledeneniem [Some of the original deposits in the Kungur cave associated with its glaciation]. *Mineraly i otlozheniya peshcher i ikh prakticheskoe znachenie : teisy dokladov* [Minerals Deposits and Caves and Their Practical Significance. Proceedings], Perm, 1989, pp. 22–23.
4. Bogdanovich E. D. Kutukskie peshchery [Kutuksky caves]. *Bashkiriya. Putevoditel* [Bashkiria. Guide], Ufa, 1971, pp. 419–420.
5. Kadebskaya O. I. Kriogennyye obrazovaniya karbonatnykh peshcher Urala [Cryogenic formation of carbonate cave Urals]. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesurov : sbornik nauchnykh trudov* [The Strategy and Development Processes Georesources. Proceedings], 2012, vol. 10, pp. 13–15.
6. Kadebskaya O. I., Tchaikovskiy I. I. Mineralogicheskaya i izotopnaya tipizatsiya karbonatnykh obrazovaniy peshcher Zapadnogo Urala [Mineralogical and isotopic typing carbonate formations of caves in Western Ural]. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii : nauchnye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo* [Problems of Mineralogy, Petrology and Metallogeny. Scientific Reading of P.N. Chirvinskiy's Memory], 2013, vol. 16, pp. 303–311.
7. Kadebskaya O. I., Tchaikovskiy I. I. Mineralnye obrazovaniya peshchery Pobeda (Bashkortostan), svyazannyye s formirovaniem i ottaivaniem mnogoletnego l'da [Mineral education cave Pobeda (Bashkortostan), associated with the formation and thawing of multi-year ice]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2014, no. 3, pp. 66–72.
8. Kadebskaya O. I., Tchaikovskiy I. I. Spetsifika krio- i mineraloobrazovaniya peshchery Medeo (Severnyy Ural) [Specificity of cryo- and minerals Medeo cave (Northern Ural)]. *Peshchery : sbornik nauchnykh trudov* [Caves. Proceedings], 2012, vol. 35, pp. 41–47.
9. Abdrakhmanov R. F. *Karst Bashkortostana* [Karst in Bashkortostan], Ufa, 2002. 382 p.
10. Martin V. I., Smirnov A. I., Sokolov Y. V. Peshchery Bashkirii [Bashkiria Caves]. *Peshchery* [Caves], Perm, 1993, pp. 30–59.
11. Stepanov Yu. I., Taynitskiy A. A., Kichigin A. V. Georadarnyye issledovaniya podzemnykh naledey v peshcherakh Urala [GPR studies underground ice accumulation in the caves of the Urals]. *Kompleksnoe ispolzovanie i okhrana podzemnykh prostranstv : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Complex Use and Protection of Underground Spaces. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], Perm, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ. House, 2014, pp. 65–68.
12. Fedorov E. S. Zametka o Kungurskikh peshcherakh [A note on the Kungur cave]. *Materialy dlya geologii Rossii* [Proceedings for Russian Geology], 1883, vol. XI, pp. 217–243.
13. Kadebskaya O. I. Cryogenic minerals of some ice caves of the Urals. *Volume of abstracts IWIC-V international Workshop on ice caves*, Barzio (LC), Valsassina, Grigna and Milano, Italy, September 16-23, 2012, pp. 35.
14. Lacelle D., Lauriol B., Clark I. D. Seasonal isotopic imprint in moonmilk from Caverne de l'Ours (Quebec, Canada): implications for climatic reconstruction. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2004, vol. 41, pp. 1411–1423.
15. Stepanov Y. I., et al. Study of multiyear ice in Medeo cave (North Ural). *International workshop on ice caves: proceedings symposium 4*, Carlsbad, NCKRI Publ., 2014, pp. 25–30.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛАСТИЧНОГО СВЕРХСКОРОСТНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН

Блохин Владимир Васильевич, генеральный директор, ООО «БЕЛЛА Восток», 140300, Российская Федерация, г. Егорьевск, ул. Промышленная, 9е, e-mail: bella-tzmo.ru

Серебряков Олег Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Серебрякова Валентина Ивановна, аспирант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, e-mail: geotehnika@aucu.ru