

УДК 551.442

## Криогенные минералы пещер р. Вижай (Северный Урал)

Е.П. Базарова<sup>а</sup>, О.И. Кадебская<sup>б</sup>, Е.А. Цурихин<sup>с</sup>

<sup>а</sup>Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
E-mail: bazarova@crust.irk.ru

<sup>б</sup>Горный институт УрО РАН, 614007, Пермь, ул. Сибирская, 78а  
E-mail: icescave@bc.ru

<sup>с</sup>Уральский филиал ФГУП «Госрыбцентр», 620086, Екатеринбург, ул. Ясная, 1, корп. 6

(Статья поступила в редакцию 18 июля 2017 г.)

Приведены новые сведения о криогенных минеральных образованиях пещер Северного Урала в районе р. Вижай. В составе криогенного материала из обеих пещер преобладает кальцит с незначительной примесью гипса. Были выявлены метастабильные фазы кальцита – моногидрокальцит и икаит. Кальцит в пещере Саксофон образует как сферолиты, так и уплощенные зерна. В пещере Ледниковой большая часть криоматериала представлена сферолитами, что может говорить о значительном пересыщении раствора. Отчетливое концентрическое строение с зонами роста в пещере Ледниковой указывает на образование криогенного материала в тонкой пленке воды при частичном оттаивании верхней части многолетней наледи в летнее время. В пещере Саксофон зоны роста в кристаллах проявлены слабо, что, вероятно, вызвано тем, что оледенение в данной пещере является сезонным и криогенные минералы здесь, по сравнению с пещерой Ледниковой, молодые.

Ключевые слова: *пещеры, криогенез, Северный Урал, кальцит, гипс, икаит.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.1.11

### Введение

Исследование карстовых объектов на р. Вижай было начато в 2007 г. спелеологами Свердловской городской спелеосекции (Цурихин, 2011). На сегодняшний день там изучено более 70 пещер, имеющих общую протяженность ходов более 9 км.

Зимой 2013 г. в ходе межклубного исследовательско-разведочного выезда под руководством Е.А. Цурихина (Свердловская городская спелеосекция, г. Екатеринбург) был проведен отбор вмещающих пород, льда и криогенных образований в пещерах Саксофон и Ледниковая с целью исследования криогенного минералообразования. Обе пещеры заложены в одних и тех же породах, при этом п. Ледниковая имеет многолетнюю ледяную толщину, а п. Саксофон подвергается сезонному оледе-

нению, что дает возможность сравнивать особенности криогенеза при данных условиях. В работе приведены данные о минеральном и химическом составе криогенных образований, описаны морфология и условия их нахождения.

Определение минерального состава криогенных образований проводилось в Институте земной коры СО РАН в г. Иркутске методом рентгенофазового анализа З.Ф. Ущуповской. Морфология и химический состав криогенных образований исследованы на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 LMN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350/X-таx 20 в Горном институте УрО РАН в г. Перми аналитиком О.В. Коротченковой. Содержания петрогенных элементов для вмещающих пород определялись в Инсти-

туте земной коры СО РАН в г. Иркутске химическим методом аналитиком М.М. Самойленко. Там же устанавливался химический состав расплавов пещерного льда методами тетрометрии, гравиметрии и атомно-адсорбционной спектрометрии аналитиком Л.А. Дурбан.

### Общие данные о пещерах

Обследование и топоъемка пещер Саксофон и Ледниковая впервые были проведены спелеологами Свердловской городской спелеосекции и Набережных Челнов в марте – мае 2009 г. Привходовые части этих пещер ранее посещались охотниками или местными жителями.

Образование данных пещер связано с подземным перетоком воды р. Вижай от поноров к источникам, расположенным в 2–3 км ниже по течению (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения пещер и направления движения подземных вод

На закарстованном участке р. Вижай теряет часть стока (до нескольких кубометров в секунду) за счет подруслового потока через понор, расположенный в середине русла реки в 400 м ниже пещеры Саксофон напротив пещеры Ледниковой.

Обе пещеры находятся в массиве светло-серых мелкозернистых известняков эйфельского яруса среднего девона. Состав пород приведен в табл. 1.

**Пещера Саксофон** расположена в 10 км к юго-западу по прямой от пос. Вижай, на левом берегу р. Вижай в 20 км выше ее устья. Длина ходов пещеры составляет 250 м при амплитуде 12 м. Вход размерами 2 на 3 м находится в 15 м от

русла реки в основании отвесной скалы. Очевидно, что в прошлом вход являлся местом поглощения речной воды. В центральной и дальней частях пещеры расположены несколько озер, уровень которых связан с уровнем воды в реке.

Таблица 1. Химический состав пород, в которых находятся пещеры Саксофон и Ледниковая, мас. %

Компоненты	п. Саксофон	п. Ледниковая
SiO <sub>2</sub>	<нпо	0.36
TiO <sub>2</sub>	<нпо	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43	0.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.25
FeO	0.05	0.07
MnO	0.01	0.01
MgO	0.49	0.5
CaO	55.58	54.41
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.03
K <sub>2</sub> O	0.04	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.05
H <sub>2</sub> O*	0.21	0.05
ппп	0.14	1.04
CO <sub>2</sub>	42.98	42.27
Сумма	100.07	99.77

<нпо – содержание компонента ниже пределов обнаружения.

На морфологию пещеры заметное влияние оказала трещина бокового отпора, пересекающая основной ход под прямым углом и образующая узкий выход на поверхность в западной части подземной полости (рис. 2).

В пещере наблюдались сезонные ледяные образования конжеляционного генезиса – сталактиты, сталагмиты, коры. На поверхности ледяных образований повсеместно отмечался криогенный остаток (рис. 4, а).

**Пещера Ледниковая** расположена в 600 м восточнее пещеры Саксофон и практически равна вышеуказанной пещере по длине и амплитуде (230 и 10 м соответственно).

Основной вход в пещеру (5 на 3 м) находится в 250 м от русла реки, в основании отвесной скалы и, по-видимому, в прошлом служил понором, как и вход в п.

Саксофон. В западной части пещеры имеется постоянный водоток с расходом воды в межень 1–2 л/с, впадающий в подземное озеро с сифонным продолжением. В паводок уровень воды в озере поднимается на 1–2 м. В отличие от п. Саксофон, морфология п. Ледниковой довольно сложная (рис. 3). Пещера имеет два грота, привходовую галерею, на дне которой находится ледник, и лабиринтовую часть, представляющую собой систему наклонных трещин и ходов.

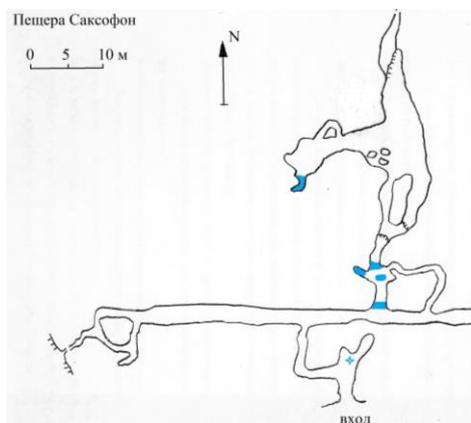


Рис. 2. План п. Саксофон. Синим цветом показаны обводненные участки

Многолетние ледяные образования преимущественно конжеляционные: наледные коры (рис. 6, а), сталактиты и сталагмиты длиной до 1.5 м. Наблюдаются небольшие участки развития сублимационного льда.

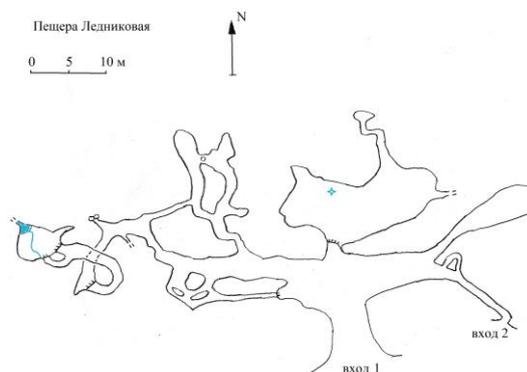


Рис. 3. План п. Ледниковая. Синим цветом показаны обводненные участки

У подножья ледопада, сталагмитов, на кончиках сталактитов, в нишах вытаивания на корях, стенах, поверхности наледи отмечался криогенный остаток от белого до желтого цвета, мощность которого в отдельных местах достигала 0.5 см.

Таблица 2. Химический состав и минерализация расплава ледяного сталагмита из пещеры Ледниковая

Единицы измерения	Содержание компонентов						
	K <sup>+</sup>	Na <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
мг/л	0.53	0.64	1.34	16.43	57.36	9.67	2.84
мг-экв/л	0.01	0.03	0.11	0.82	0.94	0.2	0.08
%-экв	1.4	2.87	11.32	84.41	76.97	16.48	6.55

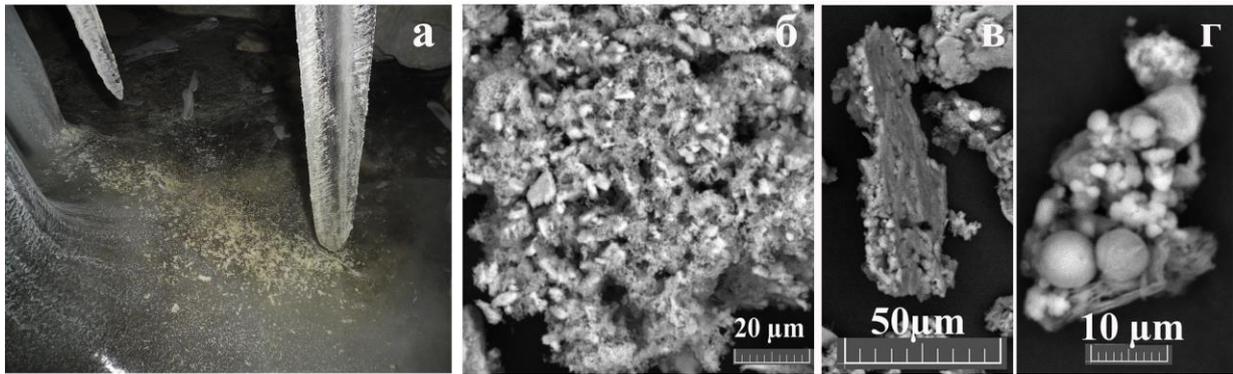
В табл. 2 приведен анализ расплава ледяного сталагмита. Химический состав воды гидрокарбонатный кальциевый, минерализация 91.8 мг/л, величина рН составляет 7.9.

### Морфология и состав криогенных образований

В пещере Саксофон пробы криогенных образований были взяты с вершинки ледяного сталагмита и с поверхности наледи. Проба, взятая с вершинки ледяного

сталагмита, сложена преимущественно кальцитом, который формирует ватообразные плохо образованные кристаллы с размером отдельных зерен 2–5 микрон (рис. 4, б). По результатам рентгенофазового анализа в образце также присутствуют следы гипса, глинистой фазы и, возможно, гидробазальюминита, кристобалита и кварца.

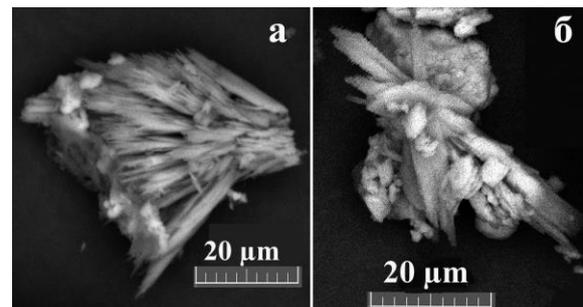
Проба криогенных образований, взятая с поверхности наледи, сложена кальцитом с незначительной примесью гипса. Кальцит чаще всего представлен расщепленными индивидами, иногда до сферолитов,



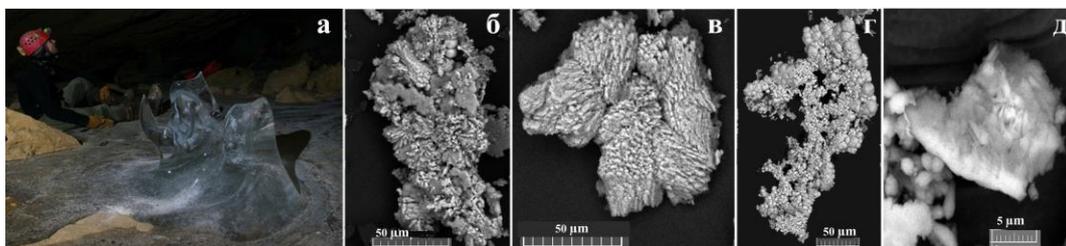
**Рис. 4.** Новообразованные криогенные фазы в пещере Саксофон: а – общий вид мучнистого криоминерального порошка на поверхности наледи и сталактитах, освобожденного из льда при испарении; б – ватобразные хаотично сложенные агрегаты микрокристаллов кальцита с вершины сталагмита; в – агрегаты-корочки с плоской подложкой; г – сферолиты и гантелевидные кристаллы кальцита

размером до 5 микрон, и уплощенными зернами (до 25 микрон). Как и в предыдущем образце, взятом с поверхности ледяного сталагмита, кристаллы объединены в агрегаты-корочки с ровным основанием, что характерно для криогенных образований и является результатом их роста на ледяной подложке (рис. 4,в). Реже наблюдаются отдельные сферолиты и кристаллы кальцита с расщепленными вершинами гантелевидной формы (рис. 4,г). Гипс нарастает на кальцитовые сростки и в основном образует веерообразные агрегаты игольчатых кристаллов (рис. 5,а) и сростки уплощенных кристаллов (рис. 5,б). По результатам рентгенофазового анализа в пробе присутствуют также следы хлорита, кварца, сьегренита-пироаурита, и, возможно, талька, сидерита.

В пещере Ледниковой пробы криогенных образований были взяты в двух местах у подножья наледи, а также с поверхности ледяного сталактита и сталагмита.

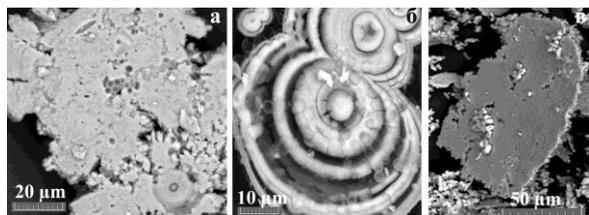


**Рис. 5.** Морфология гипса из криогенной муки в пещере Саксофон: а – веерообразные агрегаты игольчатых кристаллов; б – агрегаты уплощенных кристаллов гипса



**Рис. 6.** Новообразованные криогенные кристаллы в пещере Ледниковая: а – общий вид мучнистого порошка на поверхности наледи и сталагмитов (фотография Дж. Бадино); б, г – сферолитовые и иногда кораллоподобные агрегаты-корочки кристаллов кальцита; в – кристаллы кальцита с гранями острого и тупого ромбоэдров; д – единичные пластинчатые агрегаты кристаллов гипса

Образцы с поверхности наледи сходны по составу и морфологии и представлены криогенной мукой, сложенной расщепленными кристаллами с гранями острого и тупого ромбоэдров и сферолитами кальцита, которые объединены в агрегаты-корочки размером от 60 до 250 микрон (рис. 6, б, г). На плоском основании некоторых агрегатов наблюдаются отчетливые концентрические зоны роста и следы вторичного растворения (рис. 7, б). При этом в отдельных случаях наблюдается нарастание дополнительных кристаллов кальцита на плоское основание агрегатов-корочек (рис. 7, а, в), что, по-видимому, вызвано переворачиванием сформировавшихся агрегатов при временном оттаивании ледяной подложки.



**Рис. 7.** Морфология плоского основания агрегатов кальцита в п. Ледниковая: а, в – следы подрастворения (оплывания) и нарастание более поздних мелких кристаллов кальцита, вероятно, в период поступления новых порций растворов на поверхность льда; б – зональное строение сферолитов, подтверждающее периодичность роста криогенного кальцита

В составе образцов также присутствует гипс, образующий игольчатые микрокристаллы – обрастания на кальцитовых сферолитах и отдельные пластинчатые кристаллы (рис. 6, д). По результатам рентгенофазового анализа пробы сложены кальцитом со следами икаита и кварца.

Морфология кристаллов из образцов, взятых с поверхности ледяного сталагмита и сталактита, не исследовалась. По результатам рентгенофазового анализа проба с вершинки сталагмита сложена кальцитом с примесью икаита, а проба, взятая с поверхности сталактита, имеющая вид пленки, сложена икаитом и кальцитом со следами, возможно, пироаурита или гид-

роталькита и слабыми следами, возможно, моногидрокальцита, баритокальцита.

### Обсуждение и выводы

В обеих пещерах при замерзании привнесенных водных растворов низкой минерализации (до 100 мг/дм<sup>3</sup>) образуются криогенные минералы, которые при испарении льда освобождаются и покрывают лед тонкодисперсным материалом с размером зерен менее 250 микрон. В составе криогенного материала из обеих пещер преобладает кальцит с незначительной примесью гипса. В образцах из п. Ледниковой также были выявлены метастабильные фазы кальцита – моногидрокальцит и икаит. Находки данных минералов ранее были сделаны в зарубежных пещерах (Onac, 2008; Žák et al., 2010), в пещерах Урала (Кадебская, Чайковский, 2013) и Иркутской области (Базарова и др., 2014).

При сравнении криогенных образований из пещер Саксофон и Ледниковая можно видеть следующие закономерности. В обеих пещерах наиболее хорошо образованные кристаллы наблюдаются в образцах, взятых с поверхности наледи. Кристаллы образца, взятого с вершинки ледяного сталагмита, сформированы плохо, что может быть связано с подтаиванием сталагмита и подрастворением уже образовавшихся кристаллов, со слабым пересыщением раствора или с шоковой кристаллизацией при очень быстром замерзании раствора.

Кальцит в пещере Саксофон образует как сферолиты, так и уплощенные зерна. В пещере Ледниковая большая часть криоматериала представлена сферолитами, что может говорить о значительном пересыщении раствора (Кадебская, Чайковский, 2013; Андрейчук и др., 2013).

Плоские основания криогенных образований в образцах из обеих пещер указывают на формирование криогенного материала на поверхности льда. Отчетливое концентрическое строение с зонами роста в пещере Ледниковой может говорить об образовании криогенного материала в

тонкой пленке воды при частичном оттаивании верхней части многолетней наледи в летнее время. В пещере Саксофон зоны роста в кристаллах проявлены слабо, что, возможно, вызвано тем, что оледенение в данной пещере является сезонным и криогенные минералы здесь молодые, по сравнению с пещерой Ледниковой.

Общим минералом для криогенных образований пещер района р. Вижай является кальцит – типичная составляющая криогенных образований карбонатного карста. Прочие минералы, встреченные в следовых количествах, могут являться примесями, в том числе аллохтонными, возможно, аэрозольного происхождения.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (Иркутск).

Авторы благодарят аналитиков Института земной коры СО РАН З.Ф. Ущиповскую, М.М. Самойленко и Л.А. Дурбан и аналитика Горного института УрО РАН г. Перми О.В. Коротченкову за сделанные анализы.

*Работа выполнена в рамках программы УрО РАН № 15-18-5-16 «Экстремальные (газогенные и криогенные) процессы в геологической истории Урала: минеральные и геохимические индикаторы».*

#### Библиографический список

Андрейчук В.Н., Кадебская О.И., Чайковский И.И. Криогенные минеральные образования Кунгурской Ледяной пещеры / Си-

лезский университет; Горный Институт УрО РАН. Сосновец: Пермь, 2013. 128 с.

Базарова Е.П., Кононов А.М., Гутарева О.С., Нартова Н.В. Особенности криогенных минеральных образований пещеры Охотничья в Прибайкалье (Иркутская область) // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII, №3. С. 67–76.

Кадебская О.И., Чайковский И.И. Минеральные образования пещеры Победа (Башкортостан), связанные с формированием и оттаиванием многолетнего льда // Известия РАН. Сер. Географическая. 2014. № 3. С. 66–72.

Кадебская О.И., Чайковский И.И. Минералогическая и изотопная типизация карбонатных образований пещер Западного Урала // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. Пермь, 2013. Вып. 16. С. 303–311

Цурихин Е.А. Пещеры р. Лозьва и ее притоков – р. Сев. Тошемка, Вижай // Спелеология и спелестология: сб матер. II Междунар. науч.-практ. конф. Набережные Челны, 2011. С. 130–132

Onac V.P. Ikaite in the Scarisoara ice deposit: precipitation and significance // 3<sup>rd</sup> International Workshop on Ice Caves (IWIC – III) – Kungur Ice Cave, May 12 – 17, 2008. P. 28.

Žák K., Skála R., Filippi M., Plášil J. Ikaite – málo známý minerál zaledněných jeskyní: vyskyt v občasném sezónním zalednění jeskyně Koda (Česky kras) // Bull. mineral.-petrol. Odd. Nar. Muz. (Praha). 2010. 18/1. P. 109–115.

## Cryogenic Minerals in Caves of the Vizhay River (Northern Urals)

Е.П. Bazarova<sup>a</sup>, О.И. Kadebskaya<sup>b</sup>, Е.А. Tsurikhin<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Institute of the Earth Crust of Siberian Branch of Russian Academy of Science 128 Lermontov Str., Irkutsk 664033, Russia. E-mail: bazarova@crust.irk.ru

<sup>b</sup>Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Science. 78A Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia. E-mail: icecave@bk.ru

<sup>c</sup>UF FGUP «Gosrybcenter», 1 Yasnaya Str., Bld 6, Ekaterinburg 620086, Russia

New information on the cryogenic mineral formations at the two Vizhay River caves (Northern Urals) is given. Calcite with the insignificant gypsum admixture predominates in the cryogenic material composition from both caves. In addition, the metastable

phases of calcite, such as monohydrocalcite and ikaite were found. In the Saksofon Cave, calcite forms both spherulites and complanate grains. In Lednikovaya Cave, the major part of cryomaterial is presented by spherulites, which may suggest the significant supersaturation of solution. In Lednikovaya Cave, the distinct concentric structure with the growth zones denotes the cryogenic material formation in a thin water film under the partial thawing of upper part of long-term ice mound in summer. In Saksofon Cave the growth zones in crystals are poorly developed that probably caused by the seasonal glaciation in the cave and cryogenic minerals are younger than those in the Lednikovaya Cave.

Key words: *caves, cryogenesis, Northern Urals, calcite, gypsum, ikaite*

## References

- Andreychuk V.N., Kadebskaya O.I., Chaikovskiy I.I. 2013. Kriogennyye mineralnyye obrazovaniya Kungurskoy Ledyanoy peshchery [Cryogenic mineral formations of the Kungur Ice Cave]. Perm Sosnowiec Silesian University – Mining Institute of UB RAS, p. 128. (in Russian)
- Bazarova E.P., Kononov A.M., Gutareva O.S., Nartova N.V. 2014. Charakteristika kriogennykh mineralnykh obrazovaniy Okhotnichyey peschery v Pribaikalie (Irkutskaya oblast) [Characteristics of cryogenic mineral formations of Okhotnichya Cave at Pre-Baikal area (Irkutsk region)] *In* Criosfera zemli. T. XVIII, n3, pp. 67-76. (in Russian)
- Kadebskaya O.I., Chaikovskiy I.I. 2014. Mineralnyye obrazovaniya peshchery Pobeda (Bashkortostan), svyazannyye s formirovaniem i ottaivaniem mnogoletnego l'da [Mineral formations of the Pobeda Cave (Bashkortostan) associated with the formation and thawing of multi-year ice]. *Izvestia RAN. Seria geograficheskaya*. 3: 66-72. (in Russian)
- Kadebskaya O.I., Chaikovskiy I.I. 2013. Mineralogicheskaya i izotopnaya tipizatsiya karbonatnykh obrazovaniy peshcher Zapadnogo Urala [Mineralogical and isotopic typification of caves carbonate formations in Western Urals]. *In* Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii: nauch. cheteniya pamyati P.N. Chirvinskogo. Perm. 16:303-311 (in Russian).
- Tsurikhin E.A. 2010. Peshchery reki Lozva i ee pritokov – rek Severnaya Toshemka, Vizhay [Caves of Lozva River and its tributaries, Severnaya Toshemka and Vizhay Rivers] *In* Speleologia i spelestologia. Naberezhnye Chelny, pp. 130-132. (in Russian)
- Onac B.P. 2008. Ikaite in the Scarisoara ice deposit: precipitation and significance. 3<sup>rd</sup> International Workshop on Ice Caves (IWIC – III) – Kungur Ice Cave, May 12 – 17, 2008, p. 28.
- Žák K., Skála R., Filippi M., Plášil J. 2010. Ikaite – málo známý minerál zaledněných jeskyní: vyskyt v občasném sezónním zalednění jeskyně Koda (Česky kras). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nar. Muz. (Praha)*, 18(1):109-115.