

**Е.П. Базарова, А.В. Осинцев****Арагонитовые и кальцитовые жеоды из пещеры Ботовская**

Базарова Е.П., Осинцев А.В. Арагонитовые и кальцитовые жеоды из пещеры Ботовская // Спелеология и карстология - № 8. – Симферополь. – 2012. - С. 76-81.

Резюме: В статье описываются необычные вторичные минеральные образования, обнаруженные в Ботовской пещере в Восточной Сибири, которые представляют собой жеоды, выполненные арагонитом, а в отдельных случаях – кальцитом. Приведены два предположения о формировании жеод: за счет стекающих растворов, размывающих рыхлые пещерные отложения и заполняющих образовавшиеся пустоты, в которых затем происходила кристаллизация минералов, и за счет растворения центрального тела сформированных ранее конкреций и последующего отложения арагонита и кальцита в получившейся полости. Впоследствии жеоды были вскрыты при выносе из пещеры большого объема осадков водными потоками. Вследствие особенностей своей морфологии и генезиса данные образования могут рассматриваться как новый тип спелеотем.

Ключевые слова: спелеотемы; жеоды; арагонит; пещера Ботовская; Восточная Сибирь.

Базарова Е.П., Осинцев А.В. Арагонітові та кальцитові жеоди з печери Ботовська // Спелеологія і карстологія - № 8. – Симферополь. – 2012. - С. 76-81.

Резюме: У статті описуються незвичайні вторинні мінеральні утворення, виявлені у Ботовській печері у Східному Сибіру, якими є жеоди, виконані арагонітом, а в окремих випадках - кальцитом. Наведені два припущення про формування жеод: за рахунок стікаючих розчинів, що розмивають пухкі печерні відклади і заповнюють порожнини, що утворилися, в яких потім відбувалася кристалізація мінералів, і за рахунок розчинення центрального тіла сформованих раніше конкрецій і подальшого відкладення арагоніту і кальциту у порожнини, що утворилися. Згодом жеоди були розкриті при винесенні з печери великого об'єму відкладень водними потоками. Внаслідок особливостей своєї морфології і генезису ці утворення можуть розглядатися як новий тип спелеотем.

Ключові слова: спелеотем; жеоди; арагоніт; печера Ботовська, Східний Сибір.

Bazarova E.P., Osintsev A.V. Aragonite and calcite geodes from Botovskaya Cave // Speleology and Karstology - № 8. – Simferopol. – 2011. - P. 76-81.

Abstract: The article describes unusual secondary mineral formation found in Botovskaya Cave in Eastern Siberia, which are geodes, lined by aragonite and, in some cases, by calcite. Two assumptions of the geode formation are put forward: 1) at the expense of draining solutions that erode loose sediments and fill formed cavities, where then mineral crystallization occurs; 2) at the expense of dissolution of the central body of concretions formed earlier, followed by precipitation of aragonite and calcite in the cavity formed. Later on, the geodes were uncovered during erosion of large volumes of sediments by water flows. Due to peculiar features of their morphology and genesis, these formations can be regarded as a new type of speleothems.

Keywords: speleothems; geodes; aragonite; Botovskaya Cave; Eastern Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Вторичным минеральным образованиям пещер, или спелеотемам, на сегодняшний день посвящено большое количество публикаций, наиболее полной из которых является фундаментальный труд К. Хилл и П. Форти (Hill, Forti, 1997), в котором приводятся сведения о тридцати девяти типах спелеотем. Выделение типов основано на различных механизмах

формирования спелеотем, зависящих от движения воды и формы ее нахождения в пещере. При этом в один тип объединяются спелеотемы, имеющие общее происхождение, отличающееся от происхождения других спелеотем.

Таким образом, становится ясно, что наибольшее разнообразие вторичных минеральных образований можно ожидать в пещерах, в которых совмещаются или ранее совмещались различные гидрологические условия - например, в развивающихся пещерах, где можно наблюдать водные потоки и озера на нижних этажах, а капающую и капиллярную воду - на верхних.

Для большинства пещер Иркутской области характерна капающая и капиллярная вода, озера

и лужи, иногда встречаются небольшие водные потоки – ручьи. Вследствие этого в данных пещерах наблюдаются древние крупные спелеотемы, образовавшиеся за счет обильных водных потоков, существовавших ранее (сталактиты, сталагмиты, сталагнаты, мощные натечные коры, драпировки), и более молодые, сформированные позже капающей, капиллярной водой (небольшие сталактиты, кораллиты, кристаллиты), а также в субквальных условиях (пещерный жемчуг, обрамления водоемов). Жеоды являются разновидностью секреций, под которыми в геологии понимаются кристаллические или коллоидные минеральные вещества, выполняющие пустоты в породе и отличающиеся по составу от последних. В отличие от конкреций, рост которых происходит от центра к периферии, заполнение секреций происходит от периферии к центру путем отложения вещества на стенках пустот; результатом этого является концентрически зональное строение со слоями часто различной окраски и разного минерального состава. Среди секреций различают миндалины – секреции небольших размеров, и жеоды – секреции значительных размеров, нередко с пустотой в середине, в других случаях центральная часть секреции может быть полностью выполнена радиально-волокнистыми агрегатами какого-либо минерала (Бетехтин, 1950). Образование секреций связано с привнесением вещества истинными или коллоидными растворами при гипергенных и гидротермальных процессах (Геологический словарь, 1978). Наиболее известны секреции халцедона в базальтах, риолитах и кавернах известняков. В.А. Слетовым (Слетов, 1976) описаны жеоды кремнезема из доломитов Подмосковья.

Целью данной работы является характеристика жеод из пещеры Ботовская, не имеющих аналогов в других сибирских и, насколько можно судить по отсутствию публикаций, российских пещерах. Рассматривается морфология, минеральный состав жеод и возможный механизм их формирования, связанный с этапами развития пещерной системы.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕЩЕРЕ, ЭТАПЫ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ВТОРИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Пещера Ботовская, на сегодняшний день являющаяся самой длинной пещерой России, находится в

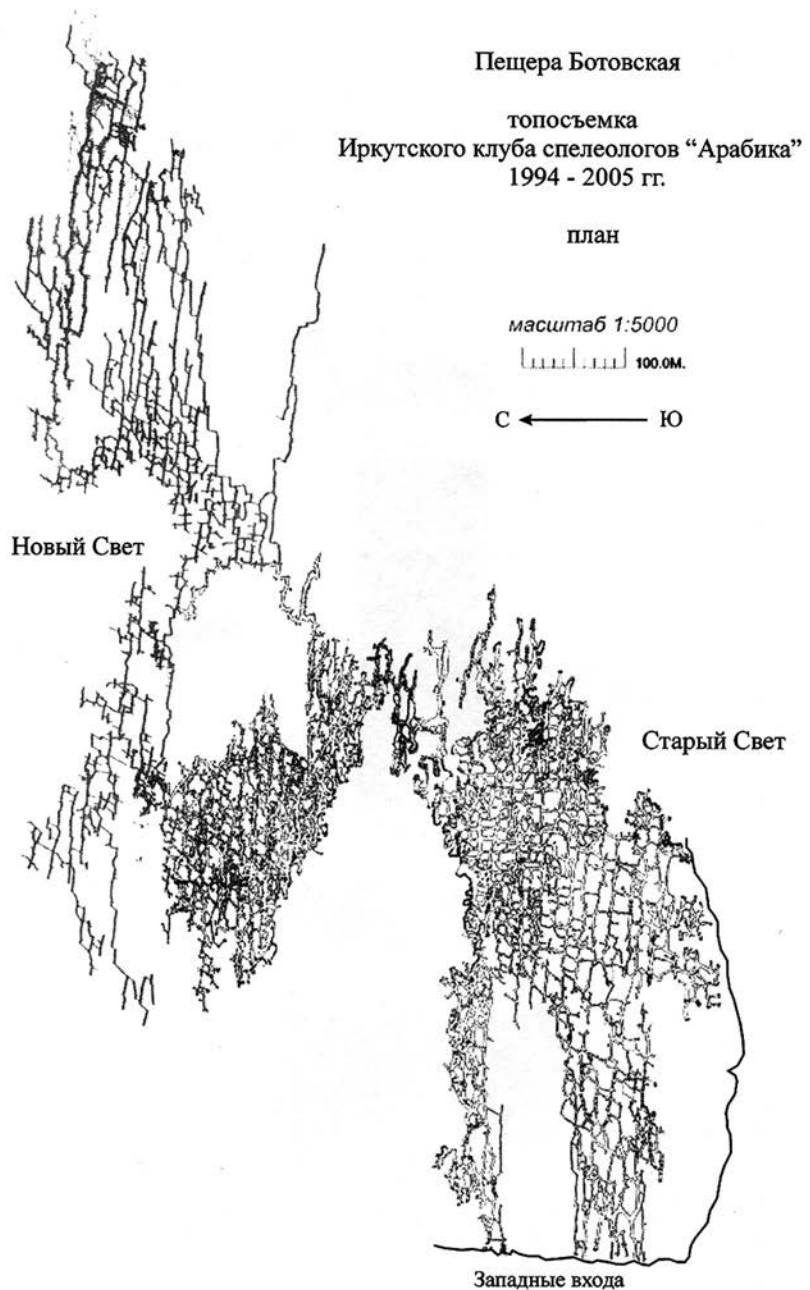


Рис. 1. Схема п. Ботовской. Топо съемка выполнена спелеологами клуба «Арабика» в 1994 – 2005 гг.

Иркутской области на Верхнеленском закарстованном плато в пределах Среднесибирского плоскогорья, и заложена в водорослевых известняках усть-кутской свиты нижнего ордовика, слагающей пласт с видимой мощностью до 8 м, зажатый среди морских песчаников этой же свиты (Филиппов, 1994). Входы расположены в верхней части левого борта р. Боты. По данным спелеоклуба «Арабика», на сегодняшний момент пещера имеет длину 66743 м. при амплитуде 40 м., в плане представляет собой сетчато-полигональный одноэтажный лабиринт (рис. 1).

По мнению А.Г. Филиппова (Филиппов, 1999), формирование пещеры происходило в четыре стадии, при этом основное осадконакопление произошло после

образования лабиринтовой системы, когда пещера перешла от фреатических условий к вадозным, в часть пещерных ходов проникли инфлюационные воды и накопились озерные глинистые отложения. Затем, после углубления эрозионного вреза существенно ниже трещинно-карстового коллектора, произошло осушение пещерной системы, диагенез и уплотнение водных отложений и формирование натечных образований, коррозия стен и потолков и размыв и переотложение глинистого заполнителя временными водотоками.

Из вторичных отложений в Ботовской пещере наиболее широко развиты водные механические и хемогенные отложения (генетические типы даны по классификации Д.С. Соколова и Г.А. Максимовича (Максимович, 1963)). Водные механические отложения подробно охарактеризованы в работе (Kadles et al., 2008), где авторы выделяют два типа осадков, имеющих различную природу и образовавшиеся на разных стадиях развития пещерной системы. К первому типу относят донные пески, сформированные при выветривании вмещающих пород-песчаников и горизонтально перенесенные сквозь пещеру на короткую дистанцию перед врезанием реки до настоящей глубины долины. Ко второму типу были отнесены отличающиеся от первого типа по минералогическим и палеомагнитным параметрам глины и глинистые пески, которые могли быть принесены ветром и отложены на поверхности над пещерой, а затем перемещены в подземную полость при вертикальном просачивании воды по трещинам. В работе (Kadles et al., 2008) также указывается, что после отложения основной массы осадков в пещере произошел вынос их части сильными водными потоками, связанными с поверхностной эрозией, возникшей, возможно, в результате лесных пожаров, уничтоживших растительный слой над пещерой, ранее препятствующий проникновению воды в полость. О таком сильном размыве свидетельствуют висячие натечные коры, первоначально сформировавшиеся на слое рыхлого материала.

К хемогенным отложениям относятся арагонитовые и кальцитовые коры на стенах и на полу, сталактиты, сталагмиты, сталагматы (рис. 2), субаквальные оторочки луж, инкрустации их дна, пещерный



Рис. 2. Хемогенные образования на одном из участков пещеры.

жемчуг и геликтиты. Характерной чертой вторичной минерализации Ботовской пещеры является широкое развитие в ней арагонита, который встречается как в виде древних кристаллититовых кор, более мощных, частично перешедших в кальцит, но сохранивших игольчатую форму агрегатов, так и в виде более молодых кристаллититов, растущих отдельными небольшими пучками с длиной кристаллов до 1 см (рис. 3). На древних арагонитовых кристаллититах нередко развиваются кальцитовые кораллиты, что свидетельствует о смене условий минералообразования в пещере.



Рис. 3. Арагонитовые кристаллититы.

ЖЕОДЫ БОТОВСКОЙ ПЕЩЕРЫ

Морфология и минеральный состав

Спелеотемы, представляющие собой полые желваки сферической и неправильной формы, были обнаружены в большом количестве в северо-западной части района пещеры, называемого «Старый Свет», в зоне максимального размыва пещерных ходов (так называемой «зоны аэродромов»). Ширина ходов на данном участке в верхней части достигает 10 м, а в нижней, заполненной осадками, предположительно может достигать нескольких десятков метров. При этом кровля хода зачастую отрывалась по трещинам напластования единым пластом на всю ширину хода.

Данные спелеотемы наблюдались в пещере как сросшимися между собой в крупные (размером до 0,5 м) грозди, прикрепленные к стенам (рис. 4), так и свободно лежащими на полу в виде отдельных небольших (около 10 см в диаметре) желваков. Иногда желваки частично разрушены.

Определение минерального состава рассматриваемых образований проводилось в Иркутске в аналитическом центре Института земной коры СО РАН методом рентгенофазового анализа аналитиком З.Ф. Ушаповской на дифрактометре ДРОН-3 на $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Внутренняя часть жеод выполнена игольчатыми кристаллами арагонита длиной до 5 мм, иногда со следами кальцита и диоксида. Крупные кристаллы растут поверх щетки мелких, до 1 мм,



Рис. 4. Общий вид арагонитовой жеоды.



Рис. 6. Часть разрушенной кальцитовой жеоды. Видна зональность в кальцитовой коре.



Рис. 5. Части разрушенной кальцитовой жеоды с кристаллами розового кальцита до 3 мм (а) и белого кальцита размером до 1 мм (б).

арагонитовых кристаллов со слабыми следами альфа-кристобалита и диопсида, а густо окрашенная глиной оболочка (внешняя часть жеоды) сложена арагонитом со слабыми следами, возможно, пирофиллита.

Реже встречаются жеоды, выполненные кристаллами кальцита размером до 3 мм, розового (рис. 5 а) или белого цвета (рис. 5 б), со следами талька.

Кальцитовые кристаллы погружены в кору кальцита мощностью до 1 мм, выстилающую жеоду изнутри. В коре наблюдается тонкая зональность – чередование белых и розоватых слоев, обусловленных, по-видимому, глинистой примесью (рис. 6). Следы талька, обнаруженные в составе более крупных кальцитовых кристаллов, вызваны глинистым налетом, который заметен под бинокулярным микроскопом. В этом же образовании, по соседству с участками кальцита, наблюдались участки игольчатых кристаллов арагонита до нескольких миллиметров в длину, а пересекающая кальцитовую жеоду трещина шириной около 3 мм практически заполнена арагонитовыми кристаллами.

Возможные модели формирования жеод

Для формирования жеод необходимо наличие пустот в породе, которые затем заполняются кристаллизующимся веществом. Полости в глинистых отложениях Ботовской пещеры могли образоваться после завершения основного осадконакопления, когда часть осадков была размыта временными потоками. Предположительно, это происходило при просачивании воды с поверхности ее по системе трещин и последующем стекании ее по стенам пещеры с одновременным образованием хемогенных отложений. Тогда же были образованы участки так называемой минерализованной глины - то есть глины с тонкими прожилками, пропластками и миндалинами арагонита (рис. 7), располагающиеся выше зоны, в которой происходило формирование жеод (рис. 9). Прожилки, пропластки и миндалины сформировались, вероятно, за счет кристаллизации раствора, заполнившего небольшие трещины и полости, образовавшиеся либо в ходе частичного размыва осадков, либо в ходе просадки заполнителя пещерных ходов в нижележащие полости - скорее всего, осевые трещины, расширенные явлениями разгрузки склонов (Филиппов, 1994). Такие просадки весьма вероятны для рыхлого заполнителя широких пещерных ходов в «зоне аэродромов».

Рост арагонитовой и кальцитовой коры в образовавшихся пустотах мог происходить следующими путями: при подтоке раствора по питающим каналам,



Рис. 7. Миндалины арагонита размером около 1,5 на 1 см в глинистых отложениях.



Рис. 8. Арагонитовая жеода с загрязненными просочившейся по трещине глиной кристаллами в нижней части.

за счет капиллярного площадного питания сквозь поры субстрата или при выпадении минерала из раствора, заполняющего полость.

Судить о существовании каналов затруднительно, так как большинство наблюдаемых жеод разрушены, а уцелевшие не выносились из пещеры. В полевых условиях каналы в целых жеодах не наблюдались. Что касается разрушенных образований, то трещины, залеченные мелкими игольчатыми кристаллами арагонита и способные ранее служить каналами, наблюдались только в некоторых из них. Большинство

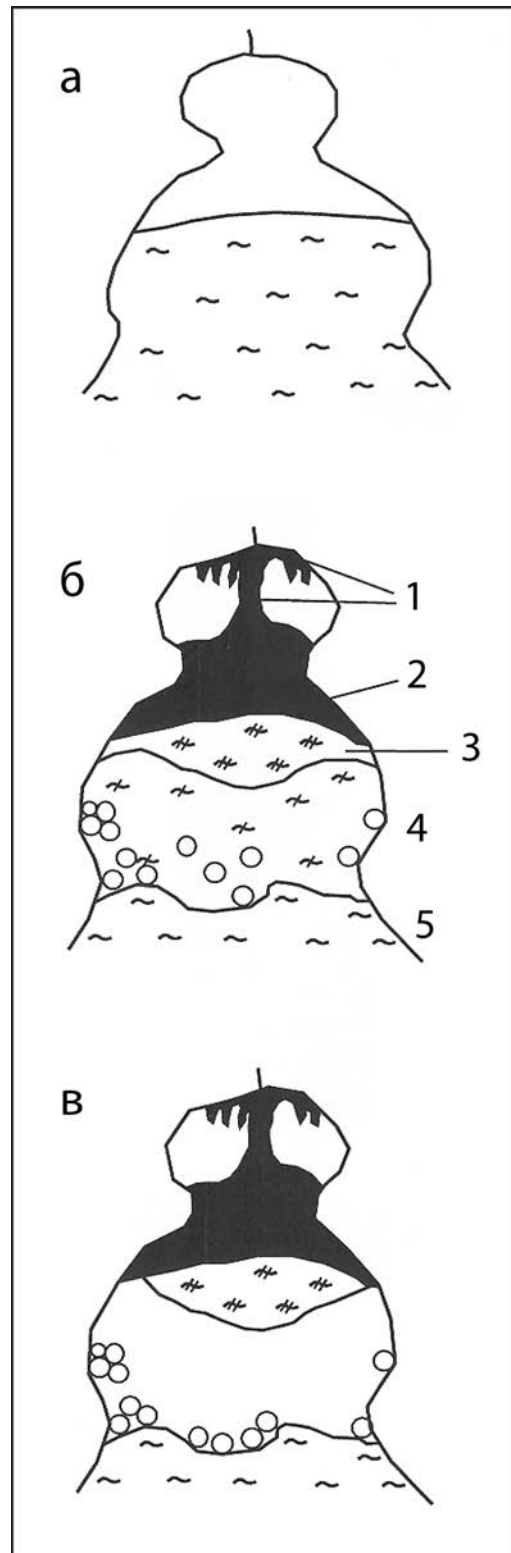


Рис. 9. а – заполнение пещерных ходов водными механическими отложениями; б – образование водных хемогенных отложений и жеод (1 – сталактиты, сталагматы и т.п., 2 – натечные коры поверх глинистых отложений на полу хода, 3 – зона минерализованной глины с пропластками и миндалинами арагонита, 4 – зона, в которой происходило формирование жеод (обозначены кружками), 5 – нижние слои водных механических отложений), в – вид пещерного хода в настоящее время. Вымывание рыхлого заполнителя привело к формированию висячих натечных кор и обнажение свободно лежащих и прикрепленных жеод, а также их скоплений.

трещин в жеодах служило для проникновения глинистых растворов, что указывает на образование таких трещин уже после заполнения жеоды кристаллами (рис. 8).

Как указано в примечании В.А. Мальцева к статье В.И. Степанова (Степанов, 1998), капиллярное площадное питание через пористые субстраты невозможно для карбонатных минералов вследствие их недостаточной растворимости. Вследствие этого остается предположить, что рост кристаллических агрегатов происходил при выпадении минерала из раствора, заполняющего полость.

По-видимому, эти же растворы вызвали формирование мощных арагонитовых кристаллититовых кор на стенах. На сегодняшний момент химические анализы были получены лишь для двух проб вторичных минеральных образований – кристаллититовой коры и мондмилха. В обеих пробах отмечается повышенное в десятки раз со вмещающими породами содержание стронция, что может указывать на то, что рост арагонита в Ботовской пещере контролировался стронцием (Hill, Forti, 1997), источником которого, по-видимому, являлись вмещающие породы. Содержание стронция в пещерных осадках в целом примерно в два раза ниже его содержания во вмещающих породах, при этом особенно понижено содержание в донных песках, слагающих нижний слой водно-механических отложений пещеры. Вследствие этого можно предполагать переход стронция в раствор при размыве коренных пород и последующее переотложение в арагоните, заполняющем пустоты в рыхлых отложениях, и в арагонитовых кристаллититовых корках на стенах пещеры. Рост в некоторых жеодах кальцита вместо арагонита трудно объяснить. Возможно, это связано с заполнением отдельных пустот раствором с пониженной концентрацией стронция.

Кроме того, в ходе обсуждения статьи было высказано предположение о существовании первоначальных «затравок» - минеральных или органических центров роста, которые привели к формированию конкреций. В дальнейшем, после полного растворения центральных тел и роста кристаллов на стенках образовавшейся полости, такие пустотелые конкреции могли принять облик жеод.

Вскрытие жеод и участков минерализованной глины произошло после выноса большей части несцементированной глины сильными водными потоками, которые привели к формированию висячих натечных кор, образующих «ложные потолки» и выступы на стенах, а также других спелеотем, первоначальный рост которых происходил поверх слоя рыхлых отложений. На рис. 9 приведена схема, отражающая наши представления о последних этапах развития пещерной системы, когда происходило образование жеод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Ботовской пещере были обнаружены жеоды, образованные арагонитом и в редких случаях кальцитом, а также мелкие пропластки и миндалины арагонита в глиняном заполнителе пещерных ходов (участки так называемой минерализованной глины).

Приведены два возможных механизма формирования жеод: за счет стекающих растворов, размывающих рыхлые отложения и заполняющих образовавшиеся пустоты, в которых затем происходила кристаллизация минералов, и за счет растворения центрального тела сформированных ранее конкреций и последующего отложения арагонита и кальцита в получившейся полости. Данные предположения следует считать предварительными и нуждающимися в дальнейшей проверке.

Наиболее вероятной причиной роста арагонита в жеодах, так же, как и возникновение арагонитовых кристаллититов, сталактитов и натечных кор, является повышенная концентрация стронция в питающем растворе.

Подобно висячим натечным корам, жеоды и участки минерализованной глины свидетельствуют о выносе из пещеры большого объема осадков мощными водными потоками за сравнительно небольшой промежуток времени.

Если высказанные выше предположения о происхождении жеод верны, то их генезис отличается от генезиса описанных ранее (Hill, Forti, 1997) спелеотем. Жеоды являются неким промежуточным звеном между водными механическими и хемогенными образованиями, вследствие чего их можно рассматривать как новый тип спелеотем.

ЛИТЕРАТУРА

- Геологический словарь в 2-х томах под ред. К.Н. Паффенгольца. Т. 2. - Москва: Недра., - 1978. - 456 с.
- Максимович Г.А. Основы карстологии. Т. 1. - Пермь, - 1963. - 446 с.
- Слётов В.А. К онтогении жеод кремнезема из каменноугольных отложений Подмосковья // Очерки по генетической минералогии.- М.: Наука.1976. <<http://mindraw.web.ru/bibl10.htm>>
- Степанов В.И. Структуры и текстуры минеральных агрегатов, образующихся в свободном пространстве пустот // Спелеология в России, вып.1. - М., 1998. - С.70-91.
- Филиппов А. Г. Пещера Ботовская // Вопросы физической спелеологии. - Москва: МФТИ, - 1994. - С. 142-160.
- Филиппов А.Г. Генезис Ботовской пещеры // Геоморфология. – 1999. - № 1. - С. 108-115.
- Hill C., Forti P. Cave minerals of the world. Huntsville, USA. - 1997. - 463 p.
- Kadles J. et al. Clastic cave deposits in Botovskaya cave (Eastern Siberia, Russian federation) // Journal of Cave and Karst Studies. - 2008. - Vol. 70. -№3. - P. 142-155.