



Б.Р.Мавлюдов

Гляциоспелеология: задачи и возможности

Mavlyudov B.R. Glaciospeleology: tasks and opportunities // Speleology and Karstology, - Vol. 1. – Simferopol. – 2008. – P.60-66.

Мавлюдов Б.Р. Гляциоспелеология: завдання та можливості // Спелеологія і карстологія, - № 1. – Сімферополь. – 2008. С. 60-66.

Резюме: Гляциоспелеология – наука о пещерах в ледниках и других видах природного льда, их генезисе и эволюции. Рассмотрены суть и задачи гляциоспелеологии, приведена краткая история гляциоспелеологии, основные достижения и возможности использования результатов исследований. Морфологическое подобие пещер во льду и в известняке, а также короткий период формирования и эволюции каналов в ледниках позволяют использовать объекты изучения гляциоспелеологии в качестве натуральных моделей для известняковых пещер. Это позволит разрешить в будущем многие проблемы спелеогенеза карстовых полостей. Однако необходимо учитывать различия пещер во льду и известняке и разработать критерии подобия процессов спелеогенеза в этих разных горных породах. Ключевые слова: пещеры в ледниках; спелеогенез; ледниковый карст, внутренние дренажные системы ледников.

Abstract: Glaciospeleology is a science about caves in glaciers and other kinds of natural ice, their genesis and evolution. Subject and tasks of glaciospeleology, the brief history of glaciospeleology, the basic achievements and research possibilities are considered. Morphological similarity of caves in ice and in limestone, and also the short period of conduit formation and evolution in glaciers allow using objects of glaciological studying as natural models for limestone caves. It may allow to resolve many problems of karst cavities speleogenesis in the future. However it is necessary to take into account distinctions of caves in ice and limestone and to develop criteria of similarity of speleogenesis processes in these different rocks. Key words: caves in glaciers; speleogenesis; internal drainage systems of glaciers; similarity of karst in limestone and ice.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время спелеология довольно бурно развивается. Она уже разделилась на несколько вполне самостоятельных научных направлений. К ним можно отнести спелеогенез, гидрологию дренажных систем, морфологию пещер, отложения пещер, климатические системы пещер, биоспелеологию, спелеоархеологию и др. Пещеры в основном формируются в известняках, гипсах, каменной соли, а также во льдах.

Гляциоспелеология – наука о пещерах в ледниках и других видах природного льда, их генезисе и эволюции. Каналы и пещеры возникают внутри ледников, снежников, наледей, льдов водоемов, подземных и пещерных льдов. В последнем случае они встречаются в пещерных наледях, ледниках и снежниках. Но основным объектом исследований гляциоспелеологии являются пещеры внутри ледникового льда или под ним.

Несмотря на то, что гляциоспелеология как наука очень молода, - ее возраст насчитывает всего несколько десятилетий, - тем не менее, первые посещения ледниковых пещер датируются первой половиной 19 века. Именно в это время начинаются первые исследования ледников в Альпах. Однако в те времена

посещение ледниковых пещер воспринималось скорее как курьез, чем как научное исследование (Мавлюдов, 2006). Другой целью посещения ледниковых трещин и полостей в то время явилось желание уточнить строение ледников изнутри. Имеются сведения о многокилометровых путешествиях в толще ледникового льда некоторых естествоиспытателей (например, Fristrup, 1966), но они, к сожалению, никак не подтверждены документально. И только в самом конце 19-го века был снят первый вертикальный разрез ледниковой пещеры – это произошло в ледниковом колодце на леднике Мер-де-Глас во Франции (Vallot, 1893).

Стадия накопления фактического материала в гляциоспелеологии началась несколько позже – в 1960-х годах. В это время исследуются полости в ледниках самых разных регионов мира: Норвегии (Theakstone, 1965), Аляске (Ubach, 1978), США (Halliday & Anderson, 1970), Шпицбергене (Gallo, 1968). Однако, это в основном единичные исследования, которые в большинстве случаев не имели продолжения. И только исследования пещеры ледника Парадайз на горе Гарниер (США) привели к формированию первой специализированной организации, изучающей ледниковые пещеры. Эта организация (*International Glaciospeleological Survey*), которую возглавил Чарли Андерсон, не ставила перед собой серьезных научных задач, а, скорее, стремилась накапливать информацию о ледниковых пещерах. Она издавала *International Glaciospeleological Survey Bulletin*, который выходил ограниченным тиражом в 1970-1990-е гг. в Сизтле. Бюллетень содержал данные об исследовании

© Б.Р.Мавлюдов ^{1*}

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

* Кoresпoндующий автор. E-mail: bulatrm@bk.ru

пещер членами организации и перепечаток (копий) из литературных источников, в которых упоминалось об исследованиях ледниковых пещер в прошлом. В настоящее время эта организация имеет свой сайт в интернете (<http://glaciercaves.com/>).



Рис. 1. Ледниковый колодец подобен карстовому. Ледник Альдегонда, Шпицберген, сентябрь 2006 г.

В 1970-х гг. научные исследования пещеры ледника Бертиль на Шпицбергене проводили советские и польские географы. Вода этой пещеры использовалась для зимнего водоснабжения советского поселка горняков Пирамида на Шпицбергене (Гохман и др., 1982; Гохман, Ходаков 1983; Pulina & Postnov, 1989). Проводились исследования пещер и на ряде других ледников архипелага. В начале 1980-х гг. было проведено несколько спелеологических экспедиций в ледниковые пещеры на юге острова Западный Шпицберген с участием польских, испанских, канадских, итальянских и чешских спелеологов. Базируясь на этих международных экспедициях, на 10 международном спелеоконгрессе в Венгрии в 1989 г. была создана международная комиссия “Ледниковые пещеры и карст полярных районов” в рамках Международного Спелеологического Союза (UIS). Комиссия проводит совещания и издает сборники докладов и монографии. Основные исследования ледниковых пещер в настоящее время проводятся в рамках именно этой группы. Члены комиссии провели исследования ледниковых пещер в разных регионах мира: Шпицбергене, Гренландии, Канадском архипелаге, Исландии, Альпах (Швейцарии, Франции, Италии, Австрии), Кавказе, Тянь-Шане, Памире, Кара-Коруме, Тибете, Патагонии, Антарктиде.

Несмотря на явный междисциплинарный характер гляциоспелеологии (в первую очередь, она развивается на стыке гляциологии и спелеологии), в настоящее время в развитии этого научного направления преобладает существенный крен в спелеологию. Проявляется это в том, что ледниковые пещеры исследуют спелеологи, а гляциологов результаты этих исследований практически не интересуют. В тоже время спелеологов не сильно интересует сам субстрат пещер – ледники. Такая ситуация делает исследования ледниковых пещер несколько ущербными. В некоторой степени этого удалось избежать в отечественной гляциологии и спелеологии (Мавлюдов, 2006), хотя и тут не все просто, и гляциологи не стремятся использовать достижения гляциоспелеологии.

В этой статье мы постараемся кратко остановиться на задачах, особенностях, достижениях, перспективах и использовании данных гляциоспелеологии.

ЗАДАЧИ И ОСОБЕННОСТИ ГЛЯЦИОСПЕЛЕОЛОГИИ

Основным объектом исследований гляциоспелеологии являются внутренние дренажные системы ледников, хотя в большей мере она изучает каналы в ледниках, доступные для человека. Взаимоотношения внутренней дренажной системы и движущихся масс льда ледников определяют задачи исследований этого научного направления. Если говорить на языке традиционной спелеологии, то объектом гляциоспелеологии являются пещеры (каналы) в движущемся и постоянно меняющем свою форму карстовом массиве. В обычном карстовом массиве дренажные каналы отвечают за характер перемещения воды в пределах массива, а также за контроль теплового поля массива. В ледниках дренажные каналы также отвечают и за передачу климатической информации внутрь ледяной толщи, а также за создание или снятие напряжений в толще льда, что проявляется в ускорении или замедлении движения ледников. С другой стороны, ускорение движения ледников угнетает развитие каналов во льду, делает их существование более коротким или невозможным. В последнем случае в развитии пещерных каналов может наблюдаться даже обратный переход от каналовой стадии к трещинной, а иногда может произойти полное исчезновение канала.

Важной особенностью формирования пещер в ледниках является то, что они возникают не в процессе традиционного для карста химического выщелачивания горной породы водными потоками, а в результате другого процесса – физического таяния льда под действием движущейся воды (Андрейчук, 1992). Поэтому основой агрессивности воды по отношению ко льду является ее температура. При этом формирование каналов во льду возможно как за счет внешнего тепла, так и за счет энергии перехода потенциальной энергии в кинетическую. Несмотря на разницу в процессах, форма и размеры каналов внутри ледников оказываются подобными каналам в горных породах (Рис. 1, 2). Вот только время формирования и существования каналов во льду охватывает очень короткий период – от нескольких месяцев до нескольких лет. Короткое время существования каналов связано с тем, что лед обладает пластической деформацией. Если давление воды в канале оказывалось меньшим,



Рис. 2. Галерея на дне ледникового колодца. Ледник Альдегонда, Шпицберген, сентябрь 2006 г.

чем давление вышележащего льда, то канал начинал уменьшаться в диаметре (Röthlisberger, 1972). Сезонное исчезновение стока может приводить как к уменьшению площади поперечного сечения каналов в толще льда, так и к полному их смыканию.

В соответствии с этими особенностями гляциоспелеологии ее задачами являются:

- выявление причин, условий формирования и особенностей эволюции каналов в ледниках (спелеогенез);
- выявление типов ледников, в которых формирование каналов во льду возможно;
- выявление динамики изменения каналов во времени (сезонной, годовой, многолетней);
- выявление связи развития каналов с динамикой ледников;
- выявление географических закономерностей распространения каналов в ледниках;
- выявление возможностей использования знаний о современных каналах ледников для понимания динамики деградации ледниковых щитов в прошлом, настоящем и будущем;
- выявление возможностей использования знаний о современных каналах ледников в гляциологии, гидрологии, карстоведении и других смежных науках;
- создание базы данных обследованных ледниковых пещер.

ЛЕДНИКОВЫЙ КАРСТ

В общем случае формирование каналов и полостей в ледниках (на поверхности, внутри и под ледником) называют ледниковым карстом (Benn & Evans, 1998). Особенности формирования, развития и распространения ледникового карста

мы рассматривали ранее (Мавлюдов, 2004, 2005, 2006; Mavlyudov, 2005). Ледниковый карст наиболее интенсивно развивается на участках ледников, покрытых слоем моренных отложений (обычно на языках ледников). Прикрытый такими отложениями лед тает очень медленно. Но развитие ледникового карста многократно усиливает таяние льда изнутри, способствуя ускоренному его разрушению. Из знания особенностей развития ледникового карста на ледниках вытекает еще одна важная задача гляциоспелеологии: выявление особенностей внутреннего таяния в разных частях разнообразных ледников. Это поможет понять причины быстрой деградации ледников, создаст почву для прогноза катастрофических сбросов воды из ледниковых озер и резервуаров, а также для прогноза стока с ледников и его возможной динамики в будущем.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В изучении каналов в толще ледникового льда в основном используются традиционные методы, принятые в спелеологии и карстоведении: изучение поверхностных карстовых форм, непосредственное проникновение в пещеры с проведением комплекса работ по их документации (топосъемка, климатические измерения, измерения температуры льда и др.) и метод трассирования, который в современной гляциологии считается практически единственным методом изучения каналов в толще ледников (позволяет оценить усредненные параметры внутренней дренажной системы и динамику ее размеров во времени). Постоянно предпринимаются попытки использовать другие методы для изучения внутреннего дренажа ледников: изучение каналов через скважины, радарные исследования. Первый метод достаточно дорог притом, что попадание скважины в пещерный канал является очень маловероятным событием. В случае вскрытия канала скважиной существует возможность исследовать его с помощью видеокамеры. Радарные исследования позволяют говорить о наличии воды во льду в пределах какого-то слоя, но не могут точно сказать о возможном существовании канала и его положении в пределах ледяной толщ. Так что наиболее надежным и достоверным способом изучения каналов толще льда по-прежнему остается спелеологический метод.

ДОСТИЖЕНИЯ ГЛЯЦИОСПЕЛЕОЛОГИИ

К настоящему времени удалось выяснить, что внутренние каналы возникают в ледниках многих типов. Преобладающая часть внутренних каналов формируется по трещинам. Наиболее интенсивно полости формируются в теплых ледниках (вся толща льда имеет нулевую температуру), менее выражены они в политермальных ледниках (слой теплого льда расположен под верхним слоем холодного льда), а в наименьшей степени они развиты или совсем отсутствуют в холодных ледниках.

Гляциоспелеология уже вышла из этапа только собирательства данных. Однако сам этот этап не только не закончен, но еще и не начат на очень многих ледниках. При этом повторные исследования ледниковых пещер проведены буквально в единичных ледниках.

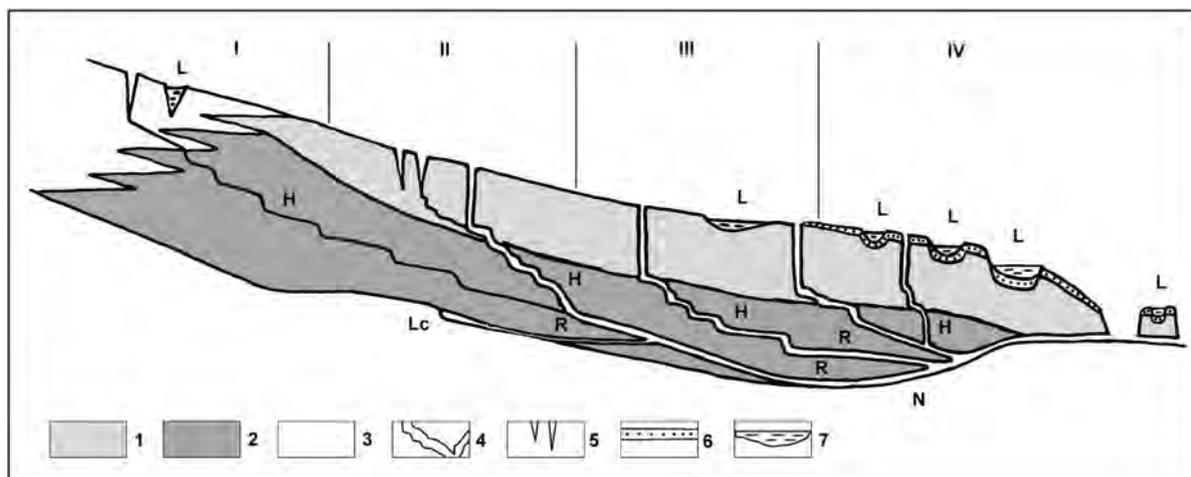


Рис. 3. Схематический разрез ледника с дренажной системой, справа массив мертвого льда. 1 = слой холодного льда; 2 = слой теплого льда; 3 = снежно-фирновые отложения; 4 = внутриледные и подледные каналы; 5 = ледниковые трещины; 6 = слой моренных отложений; 7 = вода озер. I-IV = стадии развития «ледникового карста»: I ранняя; II = юная; III = зрелая; IV = дряхлая; I = область аккумуляции, II-IV = область абляции. Н = вадозные внутриледные каналы (каналы Хука); R = фреатические внутриледные каналы (каналы Ротлисбергера); N = фреатические подледные каналы (каналы Ная); Lc = связанные каналы за выступами ложа; L = озера.

Основой для современных гляциоспелеологических исследований стала сводная гидрологическая работа (Голубев, 1976). К настоящему времени издано несколько сводок по исследованию самих ледниковых пещер (Eraso & Pulina, 2001; Badino, 2002) и внутренних дренажных систем ледников (Мавлюдов, 2006) и библиографический указатель по исследованию ледниковых пещер и ледникового карста Шпицбергена (Pierre, 2005). Предложено несколько моделей формирования каналов в толще ледникового льда как гляциологами (Shreve, 1972; Röthlisberger, 1972; Nye, 1976), так и спелеологами (Badino, 1995; Mavlyudov, 1998; Isenko, 2005). Несмотря на довольно большое количество моделей, ни одна из них не описывает процессы формирования и эволюцию каналов в ледниках в должной мере. Поэтому данные, получаемые по таким моделям, плохо согласуются с результатами спелеологических исследований на тех же ледниках. Связано это с тем, что до настоящего времени не существует адекватной теории, которая бы достоверно описывала процессы формирования каналов внутри ледниковой толщи. А разработка такой теории сдерживается недостатком фактических данных, т.е. данных спелеологических исследований.

До настоящего времени еще не удалось окончательно установить строение внутренней дренажной системы ледников. Достаточно хорошо исследованы верхняя и нижняя части этой системы, которые оказываются доступными в холодный период года (Мавлюдов, 2006). Средняя часть системы дренажа ледников (самая большая по протяжению) практически нигде не доступна. Это связано с тем, что каналы средней части дренажной системы либо заполнены водой (зона сифонной циркуляции), либо сжаты под действием пластической деформации льда и потому непроходимы в период исследований. Летом прохождение этих каналов также невозможно из-за обилия ледяной талой воды, протекающей сквозь них. Это затрудняет понимание строения всей системы дренажа ледников в целом, создавая существенный

элемент неопределенности. В частности, именно поэтому до сих пор нет ответа на вопрос о расположении каналов в средней части ледников – в толще льда или подо льдом. Именно поэтому пока не удалось оценить долю подледникового и внутриледного стока практически ни для одного ледника. Возможно, это удастся сделать в будущем с привлечением других методов. В настоящее время перспективным кажется метод оценки пути, пройденного потоком под ледником, по характеру окатанности и истертости валунов и гальки коренных пород, выносимых из-под ледника. Несмотря на сказанное выше предполагается, что внутренние дренажные системы во всех типах ледников имеют практически одинаковое строение (Рис. 3, Мавлюдов, 2005).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЛЯЦИОСПЕЛЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Безусловно, гляциоспелеологические исследования важны сами по себе для понимания потенциальной возможности формирования и эволюции каналов внутри ледников, для морфологической характеристики внутренних дренажных систем ледников и их отдельных элементов. Важны они и для гляциологии, поскольку позволяют заглянуть внутрь ледников и непосредственно изучать строение ледниковой толщи, форму и размеры внутренних каналов, оценить характер пустотности льда, измерить температуру и интенсивность внутреннего таяния льда, оценить скорости пластической деформации в зависимости от глубины полости и температуры льда, понять характер взаимного влияния каналов и ледников.

Из поставленных выше задач видно, что изучение каналов в ледниках имеет не только академический интерес. Как и карстовые воды, воды ледников повсеместно используются для целей водоснабжения. Поэтому важно знать характер поступления ледниковых вод в реки, который во многом зависит от степени развития внутренних каналов и ледникового карста.



Рис. 4. Экскурсионная группа в пещере Парадайс на горе Гарниер в США в 1914 г. (фото с сайта <http://glaciercaves.com/>).

Экскурсионные объекты

Кроме того, пещеры в ледниках очень необычны и зрелищны. Потому легкодоступные полости могут служить экскурсионными объектами. Примером может служить пещера в леднике Парадайс на горе Гарниер (США), которая посещалась туристами с начала 20 века до 1970 г., когда ледник полностью растаял (Рис. 4). В настоящее время экскурсии устраивают в левый маргинальный канал ледника Лонгиер на Шпицбергене, которые обычно проводятся в конце зимы.

Гляциоспелестология

Большинство даже легкодоступных ледниковых пещер можно посещать только в зимнее время. Чтобы привлечь дополнительные потоки туристов на ледники в годах в пик сезона, летом, в ледниках стали вырубать искусственные полости. Есть они на всех ледниках Альп в местах наибольшего наплыва туристов (ледники Мерде-Глас, Ронский, Алечский и др.). Для развлечения туристов внутри ледяных туннелей устанавливают ледяные скульптуры зверей и птиц, сказочные избушки, интерьеры комнат и др.

Искусственные каналы в ледниках делали и для военных целей. Так в 1960-е гг., в разгар холодной войны предпринимались попытки строительства военных баз-невидимок, скрытых в толще ледникового льда. Наглядным примером служила база Кемп-Сенчури в Гренландии, где небольшой военный поселок, состоящий из деревянных балков, размещался внутри ледника в специально пробитых во льду туннелях (Fristrup, 1966). Поселок вмещал до 300 человек и

снабжался энергией от небольшого атомного реактора. По неподтвержденным данным поселение служило экспериментальной авиабазой. При этом ангары для самолетов также находились внутри снежно-ледяной толщи. Преимущества такой базы были неоспоримы – она в то время не могла быть засечена с воздуха и из космоса ни визуально, ни при помощи тепловой съемки.

Одним из объектов гляциоспелестологии являются и туннели во льду карстовых пещер. Примерами таких туннелей могут служить экскурсионные туннели в наледях пещер Добшинская (Словакия) и Айсризенвельт (Австрия).

Мониторинг

Исследования показали, что внешние проявления внутренних дренажных систем ледников могут служить показателями состояния ледников, которые могут использоваться в качестве дистанционных признаков (Мавлюдов, Соловьянова, 2005). В качестве примера можно привести определение теплового состояния ледников по характеру развития ледниковых колодцев. Так, если колодцев на леднике много, то это политермальный или теплый ледник, который не обладает быстрым движением. Если колодцев мало, и они расположены только вдоль края ледника, то это холодный ледник.

Изменение состояния элементов поверхностной и внутренней дренажной сети ледников во времени позволяет получить картину изменения теплового состояния и активности ледников в течение периода наблюдений.

Приложение к карстовым исследованиям

Пещеры в ледниках являются морфологическими аналогами пещер в карстующихся горных породах. При этом можно видеть подобие между полостями на всех уровнях спелеогенеза: от этапа формирования канала по трещине до полного разрушения полости. Так как подобие форм каналов во льду и известняке мы видим в любой произвольно взятый момент их эволюции, из этого следует, что и сама эволюция каналов в обеих породах подобна. Поскольку пещеры во льду формируются и проходят весь цикл своего развития очень быстро, то они могут служить натурными моделями зарождения и эволюции карстовых пещер. Мы понимаем, что в данном случае модель не является полным аналогом моделируемого объекта, но так часто бывает в теории моделирования (Кирпичев, 1987). Тем не менее, на первый взгляд трудно согласиться с приведенным выше утверждением, ведь зарождение и эволюция каналов в карстовых породах происходят с участием несколькими геохимическими и гидродинамическими механизмами, а каналов во льду – с участием ряда термодинамических и гидродинамических механизмов. Однако подобие форм каналов во льду и известняке свидетельствует о том, что гидродинамические механизмы спелеогенеза во льду и известняке выходят на первый план, по сравнению с тем, что было бы «основными»: таянием и выщелачиванием. Без сомнения, имеется множество ограничений для использования подобных моделей, поскольку формирование каналов в известняке контролируется рядом факторов, отсутствующих в ледниковых системах (например, устойчивость карстового массива) и наоборот (например, пластичность льда и подвижность ледяного массива). Но, тем не менее, отталкиваясь от подобия формы каналов, можно утверждать, что эти различия, хотя и очень важны, не могут служить препятствием для использования достижений в изучении спелеогенеза в одной из пород для понимания спелеогенеза в другой. Во всяком случае, в гляциоспелеологии для объяснения генезиса каналов в ледниках мы использовали многие элементы теории спелеогенеза в известняках, правда, с некоторыми оговорками (Мавлюдов, 2006). Такое же возможно и в обратном направлении. Во всяком случае, для начального этапа расширения трещины водным потоком это уже сделано в фундаментальной работе по исследованию трещин в горных породах, где в качестве модели такой трещины была использована трещина во льду (Чернышев, 1983).

Нет сомнения, что создание строгой теории подобия внутренних дренажных систем в известняках и ледниках невозможно. Однако вполне возможно создание таких теорий для отдельных обстановок спелеогенеза и отдельных стадий формирования каналов в обеих породах. Очевидно, что для каждой такой стадии спелеогенеза должны быть подобраны свои критерии подобия, возможно не повторяющиеся в других стадиях. Это означает, что, используя ледниковые пещеры и поэтапный характер их формирования, мы в будущем можем проследить буквально каждый шаг формирования и эволюции карстовых полостей. Это также означает, что в будущем на базе этого метода могут быть разрешены многие спорные вопросы спелеогенеза, ответы на которые не могут быть получены другими путями.

В качестве примера уже сейчас можно рассмотреть вопрос об агрессивности карстовых вод. Следует сразу оговориться, что приведение этого примера требует более жестких доказательств, которые, к сожалению, здесь невозможны из-за ограниченного объема статьи. Полости в ледниках, которые по форме и размерам подобны каналам в известняках, возникают под действием «двойной» агрессивности: за счет тепла, приносимого с поверхности и за счет тепла, выделяющегося при преобразовании потенциальной энергии водного потока в кинетическую. Первая часть тепла ответственна за моделирование формы каналов в начальной части полости, а вторая – в остальной части дренажной системы. Можно предположить, что аналогичные процессы происходят и в карстовых системах. За счет начальной агрессивности воды в основном происходит расширение начальных частей полостей, а в дальних от входа частях каналов начинает действовать какой-то другой механизм формирования агрессивности воды. В том, что это утверждение справедливо легко убедиться на примере расширения карстовыми водами первичной трещины, имеющую незначительную ширину. Считается, что механизм сохранения растворяющей способности воды к карбонатам выявлен и подробно изучен экспериментально и на моделях – это переключение режима кинетики растворения с «быстрого» на «медленный» при достижении раствором примерно 70%-ного насыщения (Климчук, 2004). При этом при движении воды по трещинам при их малой раскрытости работает «медленная» кинетика, а при большой – «быстрая». После расширения трещины растворением включается «быстрая» кинетика и трещина превращается в канал. Однако, не следует забывать, что в этом случае первичная агрессивность воды падает на первых сантиметрах пути (Gabrovšek, 2000). Поэтому, чем больше длина трещины, тем больше времени потребуются для формирования канала. Первичная трещина (вернее сеть соединяющихся между собой трещин) в карстовом массиве может иметь протяженность многие километры. Чтобы не рассматривать коррозию смешивания, которая не является ведущей в формировании карстовых полостей, примем, что боковые притоки воды в такую трещину отсутствуют. На основании этого простого примера становится понятным, что за счет «медленного» растворения пещера по такой трещине за разумное время возникнуть не сможет. Поэтому, несмотря на кажущуюся логичность модельных расчетов, как видно на рассмотренном примере, элемент неопределенности в формировании пещерных каналов из трещин все же присутствует. Исходя из этого, по нашему мнению, можно предположить существование и какой-то другого механизма, ответственного за формирование агрессивности карстовых вод при их движении по трещинам. Именно его и надо искать для объяснения механизма формирования карстовых полостей. Но в этой статье мы не ставили себе задачу обнаружения такого механизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье мы лишь очень кратко рассмотрели основные направления и возможности гляциоспелеологии. Не смотря на молодость,

гляциоспелеология в настоящее время представляет собой вполне оформившееся междисциплинарное научное направление. Оно уже сейчас может решать как самостоятельные проблемы, так и проблемы смежных наук, а также наталкивать их на новые нестандартные решения, причем некоторые из них могут показаться на первый взгляд абсурдными.

Работа выполнена при финансовой поддержке ведущей научной школы НШ-9757.2006.5.

ЛИТЕРАТУРА

- Андрейчук В.Н. Некоторые аспекты изучения гляциокарста / Проблемы псевдокарста. – Пермь, 1992. – С. 58-62.
- Голубев Г.Н. Гидрология ледников. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. – 247 с.
- Гохман В.В., Троицкий Л.С., Ходаков В.Г. Гидротермический режим и водохозяйственная роль ледника Бертиль на Шпицбергене // Материалы гляциологических исследований. – Москва, 1982. – № 45. – С. 154-159.
- Гохман В.В., Ходаков В.Г. Вопросы анализа, прогноза и преобразования зимнего стока из ледника Бертиль на Шпицбергене // Материалы гляциологических исследований. – Москва, 1983. – № 46. – С. 85-192.
- Кирпичев М.В. Теория подобия // Теория подобия и тепловое моделирование. – Москва: Наука, 1987. – С. 58-103.
- Климчук А.Б. Основные особенности и проблемы гидрогеологии карста: спелеогенетический подход. Сообщение 2: Развитие каналовой проницаемости (спелеогенез) // Пещеры. Межвуз. сб. научн. трудов. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2004. – Вып. 29-30. – С. 15-29.
- Мавлюдов Б.Р. Ледниковый карст // Карстоведение – XXI век: теоретическое и практическое значение. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2004. – С. 69-74.
- Мавлюдов Б.Р. Ледниковые дренажные системы // Известия РАН, серия геогр. – Москва, 2005. – № 3. – С. 38-47.
- Мавлюдов Б.Р. Внутренние дренажные системы ледников. – Москва: Институт географии РАН, 2006. – 396 с.
- Мавлюдов Б.Р., Соловьянова И.Ю. Влияние изменения климата на состояние поверхностных дренажных систем полярных ледников (Шпицберген) // Геопространственные системы: структура, динамика, взаимосвязи. Труды XII съезда Русского Географического общества. – Санкт-Петербург, 2005. – № 2. – С. 197-202.
- Чернышев С.Н. Трещины в горных породах. – Москва: Наука, 1983. – 240 с.
- Badino G. Phenomenology and first numerical simulations of the phreatic drainage network inside glaciers // Actes du 3e Symposium International Cavites Glaciaires et Cryokarst en Regions Polaires et de Haute Montagne, Chamonix-France, 1er-6.XI.1994. – Annales Litteraires de l'universite de Besancon. Serie Geographie. – Besancon, 1995. – № 34. – Fas. 561. – P. 47-54.
- Badino G. The glacial karst // Proceedings of V International symposium on glacier caves and cryokarst in Polar and high mountain regions, Courmayeur, 15-16.04.2000. – Nimbus, 2002. – № 23-24. – P.41-157.
- Benn D.I., Evans D.J.A. Glaciers and glaciation. – London: Arnold, 1998. – 734 p.
- Eraso A., Pulina M. Cuevas en hielo y rios bajo los glaciares. 2nd ed. – Madrid: McGraw-Hill, 2001. – 279 p.
- Fristrup B. The Greenland Ice Cap. – Copenhagen: Washington University Press, 1966. – 312 p.
- Gabrovъek F. Evolution of early karst aquifers: from simple principles to complex models. – Ljubljana: ZRC SAZU, 2000. – 150 p.
- Gallo G. Grotte glaciaire au Spitsberg // CNRS, Equipe de Rech. – Lyon, 1968. – P. 29.
- Halliday W.R. Anderson C.H. The hollow glacier // Pacific Discoverer. – 1970. – Vol. 23(4). – P. 24-30.
- Isenko E.V. Development and evolution of water drainage channels in temperate and polar glaciers. Ph.D. Thesis, Sapporo. – Hokkido University, 2005. – 73 p.
- Mavlyudov B.R. Glacier caves origin // Proc. of the 4th Int. Symposium on Glacier Caves and Cryokarst in Polar and High Mountain Regions, September 1st -7th, 1996. Salzburger Geographische Materialien. – Salzburg, 1998. – Vol. 28. – P. 123-130.
- Mavlyudov B.R. Glacial karst as possible reason of quick degradation of Scandinavian glacier sheet // Mavlyudov B.R. (ed.) Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and Polar Regions. – Moscow: Institute of geography of the Russian Academy of Sciences, 2005. – P. 68-73.
- Nye J.F. Water flow in glaciers: jökulhlaups, tunnels and veins. – Journal of Glaciology. – 1976. – № 17(76). – P. 181-207.
- Pierre D.S. A preliminary annotated bibliography of the caves, karst and cryokarst of Svalbard. – Norsk Grotteblad, 2005. – Vol. 45. – P. 3-22.
- Pulina M., Postnov I. Kras gipsowy w pylnocno-zachodniej czesci Ziemi Nordenskiolda - Zachodni Spitsbergen. (Gypsum karst in the NW part of Nordenskiöld Land - West Spitsbergen) // Kras i Speleologia. – Katowice, 1989. – № 6(15). – P. 40-57.
- Röthlisberger H. Water pressure in intra- and subglacial channels. – Journal of Glaciology. – 1972. – № 11(62). – P. 177-203.
- Shreve, R.L. Movement of water in glaciers. – Journal of Glaciology. – 1972. – № 11(62). – P. 205-214.
- Theakstone W.H. Subglacial observations at Østerdalsisen, Svartisen. – Særtrykk av Norsk Geografisk Tidsskrift, 1965-1966. – № 20. – P. 38-43.
- Ubach, M. Glaciosaпeologia a Alaska. – Vértex, 62, Barselona, 1978. – P. 62-63.
- Vallot J. Exploration des moulins de la Mer de Glace. – Annales de l'Observatoire du Mont-Blanc, 1893-1905. – № 3. – P. 183-190.