

January 2010

**ПЕЩЕРЫ Сборник научных трудов PESHCHERY**  
**(CAVES) COLLECTION OF SCIENTIFIC**  
**TRANSACTIONSPESHCHERY (CAVES) INTERUNIVERSITY**  
**COLLECTION OF SCIENTIFIC TRANSACTIONS**

Follow this and additional works at: [https://digitalcommons.usf.edu/kip\\_articles](https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles)

---

**Recommended Citation**

"ПЕЩЕРЫ Сборник научных трудов PESHCHERY (CAVES) COLLECTION OF SCIENTIFIC  
TRANSACTIONSPESHCHERY (CAVES) INTERUNIVERSITY COLLECTION OF SCIENTIFIC TRANSACTIONS"  
(2010). *KIP Articles*. 5440.  
[https://digitalcommons.usf.edu/kip\\_articles/5440](https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles/5440)

This Article is brought to you for free and open access by the KIP Research Publications at Digital Commons @ University of South Florida. It has been accepted for inclusion in KIP Articles by an authorized administrator of Digital Commons @ University of South Florida. For more information, please contact [digitalcommons@usf.edu](mailto:digitalcommons@usf.edu).

A photograph of a cave interior. The ceiling is covered with numerous stalactites hanging down. The walls are rocky and uneven. In the foreground, there is a large display of many foot models, possibly made of wax or plastic, arranged in rows. The lighting is dramatic, with bright spots illuminating the cave floor and the foot models, while the rest of the cave is in shadow.

# *Пещеры*

*2010*



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Естественнонаучный институт  
Пермского государственного университета  
Учреждение Российской академии наук Горный институт  
Уральского отделения РАН  
Институт карстоведения и спелеологии  
Русского Географического общества

# Пещеры

**Сборник научных трудов  
Выпуск 33**

Пермь 2010

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE  
RUSSIAN FEDERATION  
Natural Sciences Institute of Perm State University  
Mining institute of Ural Branch Russian Academy of Sciences  
Karstology and Speleology Institute of Russian Geographical Society

**PESHCHERY (CAVES)**

**COLLECTION OF SCIENTIFIC  
TRANSACTIONS  
ISSUE 33**



**НИИ**



Основан в 1947 г. как «Спелеологический бюллетень» Естественнонаучного института  
Пермского государственного университета

Founded in 1947 as «Speleological Bulletin»  
of Natural Sciences Institute of Perm State University

Эмблема Института карстоведения и спелеологии разработана К.А. Горбуновой –  
ответственным редактором сборника «Пещеры» с 1979 по 1996 г.

The emblem of Karstology and Speleology Institute is developed by K.A.Gorbunovoj – the edi-  
tor-in-chief of the collection of «Cave» with 1979 on 1996.

УДК 551.44

ББК 26.823

П 78

П 78 **Пещеры:** сб. науч. тр. / Естественнаучный институт Перм. гос. ун-та. – Пермь, 2010. – Вып. 33. – 186 с.

ISBN 978–5–7944–1556–8

ISBN 978–5–7944–1573–5 (Вып. 33)

В сборнике приведены материалы по геологии, генезису, биотическим комплексам пещер, их охране, значительная часть материалов посвящена отложению пещер. Даны рецензии на издания по карсту и спелеологии, библиография по карсту и пещерам за 2009 г.

Издание рекомендуется спелеологам, геологам, географам, экологам, биологам. А также тем, кто интересуется карстом и пещерами.

*Peshchery (Caves): Collection of scientific transactions. – Perm, 2010 – Issue 33. – 186 p.*

In the issue materials on geology, genesis, biotic complexes of caves, their protection are resulted, the considerable part of materials is devoted by adjournment of caves. Reviews of editions on a karst and speleology, the bibliography on a karst and caves for 2009 are given.

The edition is recommended to cave explorers, geologists, geographers, ecologists, biologists and also that who is interested in a karst and caves.

Рецензенты: д. геогр. наук **Н.Н. Назаров**; д. геол.-мин. наук **В.Н. Дублянский**

Печатается по постановлению редакционно-издательского совета Пермского государственного университета

#### **Редакционная коллегия**

**Н.Г. Максимович** – главный редактор (Естественнаучный ин-т Перм. гос. ун-та, nmax@psu.ru), **О.И. Кадебская** – ученый секретарь редколлегии (Горный институт УрО РАН, icescave@bk.ru), **П. Голубек** (Музей охраны природы и спелеологии Словакии, holubek@smoraj.sk), **Ю.А. Долотов** (Русское общество спелестологических исследований, dolotov\_y@mail.ru), **В.Н. Катаев** (Перм. гос. ун-т, kataev@psu.ru), **А. Крайнич** (Ин-т исследования карста Словении, Andrej.Kranjc@zrc-sazu.si), **Р. Люс** (Британская геол. служба, djlo@bgs.ac.uk), **Б.Р. Мавлюдов** (Ин-т географии РАН, bulatrm@bk.ru), **С.С. Потапов** (Ин-т минералогии УрО РАН, spot@ilmeny.ac.ru).

Издание осуществлено при финансовой поддержке Министерства природных ресурсов Пермского края и туристического комплекса «Сталагмит», Кунгурский район

**УДК 551.44**

**ББК 26.823**

© ЕНИ ПГУ, 2010

© ГИ УрО РАН, 2010

© Коллектив авторов, 2010

На обложке: Кунгурская Ледяная пещера, грот Скандинавский, фото А. Мокрушина

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

### FOREWORD

В 33 сборнике «Пещеры», как это и предполагалось, основная тематика статей посвящена отложениям пещер.

Сборник 34 выпуска планируется выпустить в 2011 году. Преимущественная тематика сборника – различные аспекты использования пещер. Естественно, принимаются статьи по традиционной тематике, рецензии на издания по карсту и спелеологии. Статьи просим присылать до 1 октября 2011 года. Будем признательны, если вы будете способствовать пополнению библиографии за 2010-2011 года.

На сайте Естественного научного института Пермского государственного университета (<http://nsi.psu.ru/cave/vipuski.html>) размещены полнотекстовые варианты выпусков «Пещер» с 1 по 13. На этом же сайте размещен фундаментальный труд основателя сборника «Пещеры» Г. А. Максимовича «Основы карстоведения» (Т. 1 и Т. 2).



Ю.А. Долотов

*Русское общество спелестологических исследований (г. Москва)*

**ПЕЩЕРЫ ЮГО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ГОРЫ БЕШ-КОШ  
(КРЫМ)**

Y.A. Dolotov

*Russian Society of Speleology researches (Moscow)*

**CAVES OF THE SOUTHEAST SLOPE MOUNTAINS BESH-KOSH  
(CRIMEA)**

**Summary**

In article the caves located on a southeast slope of mountain Besh-Kosh for the first time are described

**Введение**

Материалом для статьи послужили полевые наблюдения 1976 г., когда автор обследовал три пещеры на горе Беш-Кош в окрестностях г. Бахчисарая (Крым), условно обозначенные им как Беш-Кош-1, -2 и -3. С тех пор автору так и не удалось найти в литературе какие-либо упоминания об этих пещерах. Их не оказалось в кадастрах В.Н. Дублянского и В. Троца [4]; не удалось их обнаружить и в кадастре УИСК/УСА [2].

Гора Беш-Кош представляет собой останец куэстовой поверхности, бронированной дат-инкерманскими известняками ( $K_2d - P_1i$ ), перекрывающими верхнемеловые мергели. Она отделена от соседних гор долинами Биюк-Ашлама-Дере и Кичик-Ашлама-Дере и находится в ядре крупной брахиформной антиклинали, к которому приурочена зона повышенной трещиноватости. На южном склоне известен ряд небольших пещер: Летучих Мышей (20 м), Орта-Кая-1 (8 м) и Орта-Кая-2 (84 м), Научная (48 м), Голубиная (69 м), Капка-Кую (47 м). Описываемые в статье пещеры расположены на юго-восточном склоне горы в обрывах куэсты.

**Беш-Кош-1**

Полость развилась по тектонической трещине азимутом простирания  $155^\circ$ , прорезающей всю толщу дат-инкерманских известняков, мощность которых достигает здесь 25 м. Координаты входа, определенные с помощью GPS в мае 2005 г.:  $N44^\circ, 74731 E33^\circ, 93140$  (UTM WGS84 зона 36). Вход широкий (около 10 м), приурочен к основанию обрыва, гротообразный; в 13 м от входа полость сужается до 0,4 м (рис. 1) и далее выполнена брекчией дат-инкерманских известняков, сцементированных терра-россой. Судя по наличию последней, полость сообщалась с поверхностью плато Беш-Кош, на котором отмечены отложения суглинков терра-россы. Вверх пещера также быстро выклинивается в узкую щель, забитую глыбами, со следами коррозии на стенах. Визуально полость просматривается в этом направлении метров на 10. Таким образом, пещеру можно рассматривать как коррозионно-эрозионную.

Нижняя часть пещеры (до 2 м от пола) сильно расширена, вероятно, суффозионно-карстовыми процессами в сильнопесчанистой разности датских известняков.

У входа стены пещеры покрыты темной тончайшей кальцитово-корой. Своды пещеры закопчены, внутри имеются следы кострищ.

СЪЁМОЧНАЯ ГРУППА: Ю. ДОЛотов, О. ТЕЛЕЖКИНА, Б. КОГАН  
18.07.1976 г.

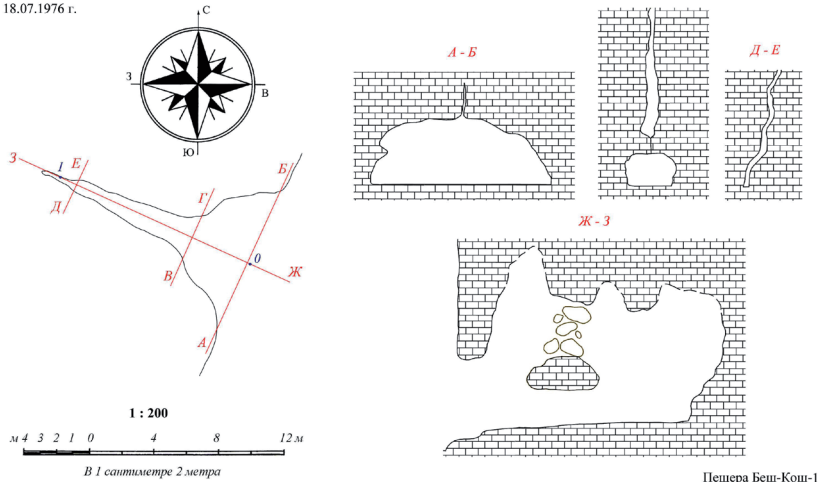


Рис. 1. План и сечения п. Беш-Кош-1

## Беш-Кош-2

Пещера находится примерно в 50 м северо-восточнее пещеры Беш-Кош-1. Полость развита в дат-инкерманских известняках по трещине бокового отпора азимутом простираения  $112^\circ$ , т.е. является коррозионно-гравитационной. Длина пещеры около 15 м, глубина около 8 м. Она имеет два выхода – щелевидный на поверхности плато г. Беш-Кош и открывающийся в середине обрыва куэсты. Детальный осмотр пещеры не производился, т.к. спуститься в нее без снаряжения не представилось возможным. Была составлена глазомерная схема (рис. 2).

ГЛАЗОМЕРНАЯ СЪЁМКА ДОЛОВОТА Ю.,  
18.07.1976 г.

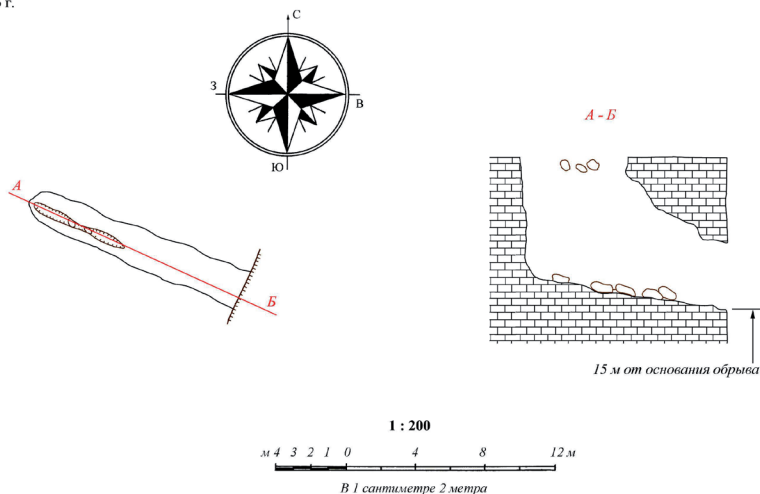


Рис. 2. План п. Беш-Кош-2

Беш-Кош-2 по крайней мере с 1950-х гг. [1] демонстрируется студентам МГТРА (бывш. МГРИ) как пример карстовой пещеры.

### Беш-Кош-3

Вход в пещеру находится в 20 м северо-восточнее пещеры Беш-Кош-2, в юго-восточном обрыве куэсты, несколькими метрами выше его основания, в криноидном слое датских известняков. Пещера заложена по двум системам трещин с азимутами простирания  $130^\circ$  и  $90-100^\circ$  (рис. 3) и слабо наклонена внутрь. Это одна из крупнейших пещер горы Беш-Кош, ее длина достигает 56 м. Пещеру можно разделить на две отличные по морфологии части.

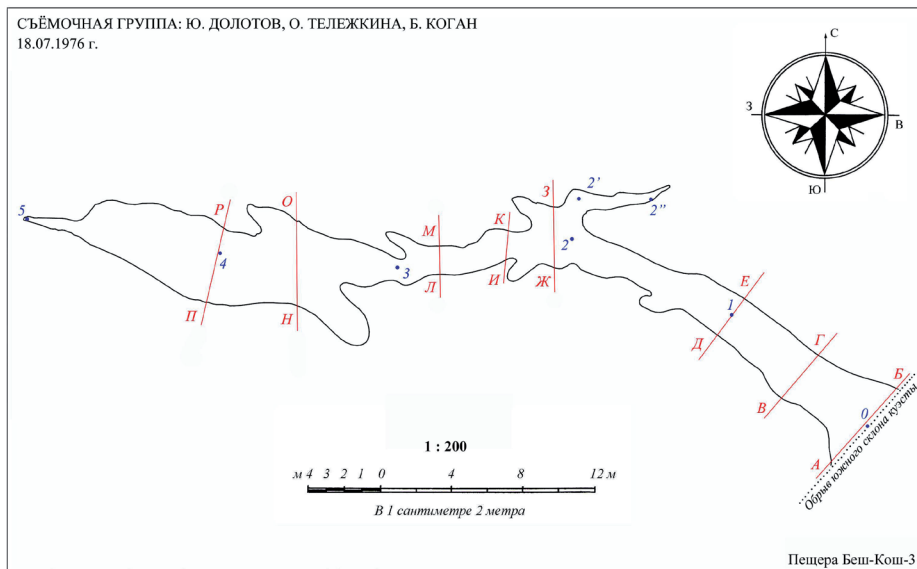


Рис. 3. План п. Беш-Кош-3

Привходовая часть, протяженностью 20 м, представляет собой участок хода, гротообразно расширенный физическим выветриванием и действием вод, инфильтрующихся с поверхности плато к ближайшему современному базису эрозии. Высота привходового грота достигает 8 м и более, стены его сильно кавернозны и несут на себе следы водной коррозии. Привходовая часть прорезает сильнопесчанистую разность датских известняков мощностью до полуметра. Эта разность резко выражена в сечении полости: ширина входа максимальна именно в ее горизонте, где составляет 5,5 м. Стены грота покрыты тончайшей кальцитово корой.

В 20 м от входа пещера меняет азимут развития с  $310^\circ$  на  $270^\circ$ . В этом месте пещера расширяется в камеру диаметром 3 м и высотой 8 м. Пол ее приподнят над окружающими участками из-за большей мощности наносов; посреди лежит глыба, покрытая конусом глины. Далее ход длиной более 10 м и высотой от 1,5 до 3 м ведет в зал длиной около 12 м, шириной 4 м и высотой до 5 м (рис. 4). Зал сформировался под действием обвальных процессов, с чем связаны неравномерная высота его сводов и многочисленные обвальные глыбы на полу, часто прикрытые наносами бурых глин, мощность которых составляет первые десятки сантиметров. Углубления и трещины в этой части пещеры выполнены лунным молоком. Далее за этим залом пещера быстро выклинивается в непроходимую трещину.

Пещера Беш-Кош-3 несомненно является коррозионно-эрозионной. Внутренняя часть пещеры носит следы обработки мощным потоком воды: стены вымыты, выступы сглажены, трещины разработаны. Некоторые небольшие трещины выполнены терра-россой.

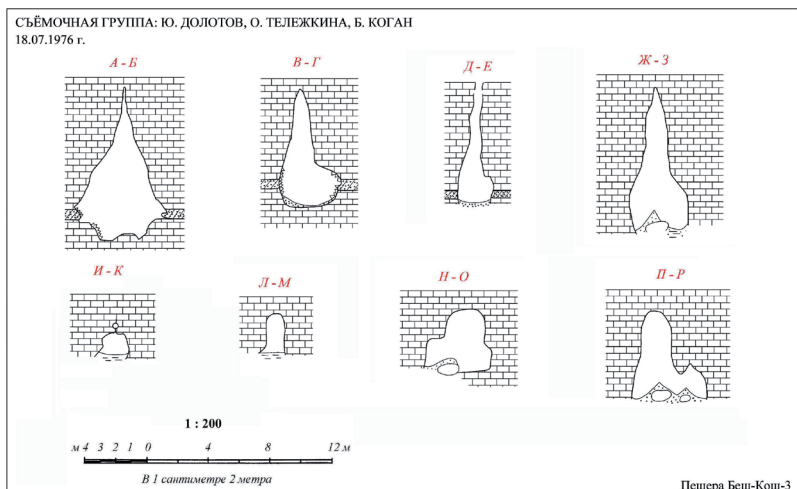


Рис. 4. Сечения п. Беш-Кош-3

В пещере обитает колония летучих мышей: в 20 м от входа отмечено заметное скопление гуано. Неподалеку расположен вырытый в полу небольшой шурф, рядом с которым было найдено значительное количество костей домашних животных и фрагментов керамики<sup>1</sup>. Вполне возможно, что этот материал был привнесен в пещеру извне во время раскопок.

### Выводы

Пещеры Беш-Кош-1 и Беш-Кош-2 представляют собой небольшие, малоинтересные карстовые полости. Однако пещера Беш-Кош-3 заслуживает большего внимания.

Традиционно считается, что начало развития карста на Второй гряде Крымских гор совпадает со временем образования куэстового рельефа, что, по М.В. Муратову, относится к концу плиоцена – началу плейстоцена [3].

Однако из вышеперечисленных наблюдений можно сделать вывод, что пещера Беш-Кош-3 является реликтом карстовой системы доантропогенного времени. Судя по обработке стен, подземный поток, формировавший полость, был довольно мощным и, следовательно, собирал воды с обширной площади. Такая ситуация могла возникнуть лишь до формирования долины Биюк-Ашлама-Дере, т.е. в неогене. К этому времени поверхность дат-инкерманских известняков в районе горы Беш-Кош была уже обнажена, о чем свидетельствуют отложения неогеновой терра-россы на ее вершине. Наличие терра-россы, выполняющей трещины в пещере Беш-Кош-3, также подтверждает ее плиоценовый возраст. Смена тропического неогенового климата на современный отражена в довольно крупной трещине (в камере, что в 20 м от входа): глубинная ее часть выполнена терра-россой, которая ближе к устью сменяется обычной бурой глиной. В начале антропогена пещера Беш-Кош-3 вступила в обвально-цементационную стадию, о чем говорят мощные наносы глины, гравитационно-глыбовые отложения, потеки лунного молока. Однако дальнейшая деградация полости

<sup>1</sup> Из пещеры было взято три черепка; специалистами–археологами два из них были отнесены к позднему средневековью, а один – к VII в.



была приостановлена развитием в связи с резкими антропогенными поднятиями долинного рельефа: долина Биюк-Ашлама-Дере прорезала дат-инкерманскую толщу, уничтожив большую часть пещеры<sup>2</sup>.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войтович В.С. Условия развития карста на II гряде Крымских гор. М., 1955 / Рукопись. Архив МГГР.
2. Климчук А.Б., Амеличев Г.Н., Андраш В. и др. Кадастр пещер Украины: метод. материалы и перечень. Симферополь, 2008.
3. Муратов М.В., Николаев Н.И. Четвертичная история и развитие рельефа Горного Крыма // Уч. Зап. Моск. ун-та. Вып. 48. М.: МГУ, 1941.
4. Троц В. Пещеры Крыма: перспективные районы // Свет. 1998. №1. С.20–25.

**Е.В. Шаврина**

***Федеральное государственное учреждение «Заповедник Пинежский»***  
**МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДЗЕМНОЙ**  
**СРЕДЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ**

**E.V. Shavrina**

***Federal State Institution «The Pinezhsky State Nature Reserve»***  
**MONITORING DYNAMIC PARAMETER UNDERGROUND**  
**AMBIENCE of the EUROPEAN NORTH to RUSSIA**

### Summary

Monitoring studies of the caves of the Archangelsk area are conducted in Pinezhsky state nature reserve. Significant change dynamic parameter underground ambience is revealed for period of the observations. It is changed microclimate caves, nature of the motion water and airstreams, configuration morphological element underground halles and moves to account of the development exogenic geological processes, as well as growing or melting underground ice, erosion and upbuilding secondary sediments.

На Европейском Севере России (ЕСР) мониторинговые наблюдения проводятся в пещерах Пинежского заповедника и его охранной зоны в течение 12–26 лет, в зависимости от подземного объекта. Район исследований расположен в Архангельской области, на северо-западе Русской равнины, в пределах западного крыла Мезенской синеклизы, на юго-востоке Беломорско-Кулойского плато (БКП). Развитие карста здесь определяется максимально благоприятными условиями: широким распространением карстующихся пород, выходящих на поверхность или покрытых маломощным чехлом четвертичных осадков; значительной тектонической неоднородностью, нетипичной для платформенных условий; циркуляцией пресных агрессивных вод. Здесь сформировался уникальный комплекс карстового рельефа, отличающийся разнообразием и высокой плотностью поверхностных и подземных форм карста, высокой активностью современного развития карста.

Большинство пещер заложено в гипсово-ангидритовой толще сакмарского яруса (нижняя и средняя части соткинской свиты,  $P_{1\text{sof}}$ ), имеющей мощность около 50 м. Местным базисом карстования служат подстилающие доломиты и известняки ассельского яруса ( $P_{1\text{as}}$ ). Поверхность массивов на отдельных участках бронирована доломитами кулогорской свиты ( $P_{1\text{kl}}$ ), на которых залегают красноцветы уфимского яруса ( $P_{2\text{u}}$ ). Образование пещер связано с неотектоническими поднятиями и концентрированным мощным ледниковым питанием в эпоху развития и деградации последнего оледенения<sup>2</sup>.

подавляющее большинство пещер представляет собой горизонтальные и субгоризонтальные разноразноуровневые системы. Это свидетельствует о заложении и

<sup>2</sup> Полость продолжает сокращаться в длине и в настоящее время: в скале у выхода имеется множество трещин бортового отпора, по которым происходит отделение глыб известняка.

развитии пещер в гидродинамических зонах горизонтальной и сифонной циркуляции. Крупные полости в плане линейно-ветвистые, с отдельными участками лабиринтов [2]. Среди небольших пещер имеются такие, которые образованы в зоне вертикальной нисходящей циркуляции. Часть их создана коррозионными процессами, а часть – провално-гравитационными при действии коррозии. В бортах речных долин, карстовых логов широко развиты карстовые полости, ниши, гроты, колодцы, пещеры.

Около четверти всех пещер, зарегистрированных в настоящее время в Архангельской области, расположены на территории Пинежского заповедника (91 пещера в заповеднике и 27 пещер в охранной зоне). Их общая протяженность превышает 47 км. Из 51 пещеры протяженностью более 500 м, найденных на текущий период в области, 18 находятся в пределах Пинежского заповедника. По данным на декабрь 2009 г., 13 пещер данной территории включены в кадастр крупных гипсовых пещер мира [7].

Большинство пещер имеет протяженность от 10 до 100 м, при этом их суммарная длина составляет 4 % от общей длины пещер рассматриваемой территории. Количество крупнейших пещер (длиной более 3 км) составляет 3 % от их общего числа, а их протяженность в совокупности – 45 % по протяженности пещер в целом по территории.

Мониторинговые исследования проводятся в ряде пещер Архангельской области, расположенных на территории Пинежского заповедника и его охранной зоны. Пещеры на особо охраняемых территориях представляют собой уникальные природные лаборатории, являются идеальными объектами для ведения мониторинга. В настоящее время мониторинг проводится в пещерах Певческая (Г-1) и Большая Голубинская. Работы включают комплекс микроклиматических наблюдений - определение динамики температурного поля пещер (максимальные, минимальные и срочные замеры), влажности и направления движения воздуха, а также гидрологических и гидрохимических (уровни, расходы, температура и минерализация карстовых вод) и гляциологических наблюдений на постоянных пикетах и створах. Кроме того, изучается гравитационная активность пещер и паводковая динамика массопереноса.

Дополнительные наблюдения проводятся в контрольных пещерах, полученными данными уточняются общие тенденции и закономерности изменений подземной среды. Наблюдения проводятся 1 раз в месяц в мониторинговых пещерах и 1–2 раза в год – в контрольных. Ведутся ежегодные наблюдения за состоянием пещерных входов на постоянных маршрутах и при спелеологических работах (рис.1). В ряде пещер – Юбилейная (С-26), Ледяная Волна, Китеж (140) – мониторинговые наблюдения были прекращены из-за высокой обвальности или закрытия входов либо видоизменены (Голубинский Провал) из-за повышенной антропогенной нагрузки.

Работы ведутся по рекомендации, изложенным в «Методике изучения карста» (1963), «Методике микроклиматических наблюдений...» [3], «Проблемах изучения карстовых полостей...» [6] с авторскими дополнениями. С 2007 года параллельно принятым ранее методикам отрабатываются измерения температурными логгерами DS1922L-F50 (производство США) и регистраторами температуры-влажности воздуха iBDL-HS, (разработка фирмы «ЭлИн», Москва).

В современных условиях пещеры Европейского Севера представляют собой разомкнутые системы с высоким уровнем саморегуляции происходящих в них обменных процессов. Результаты измерений состояния пещерных комплексов зависят от внешних энергетических воздействий. Они определяются сезонными и внесезонными воздействиями температуры воды и воздуха, поступающих в пещеры, которые имеют, как правило, неглубокое – до 10–25 м залегание. Наиболее чувствительна подземная среда к росту или снижению дебита водных потоков и температуры воды. При амплитуде паводково-меженных уровней подземных потоков от 2 до 4 м пещеры, большинство из которых являющиеся руслами постоянных или временных рек и ручьев, находятся в непрекращающемся режиме самоочистки, причем при скоростях в 0,5–1,0 м/с, происходит интенсивный вынос или переотложение вторичных пещер,

заполнителей разрывов обвалных глыбово-щебнистых отложений.

В результате исследований выявлены основные особенности процессов, совершающихся в подземной среде территории ЕСР. Происходящие в пещерах изменения инициируются внешними по отношению к подземной среде воздействиями (изменение температуры воздуха на поверхности, расхода, скорости и температуры воды, поступающей в карстовые массивы). Важнейшими факторами изменений параметров пещер являются ливневые дожди, высокие скорости и уровни подъема воды в период снеговых и дождевых паводков.

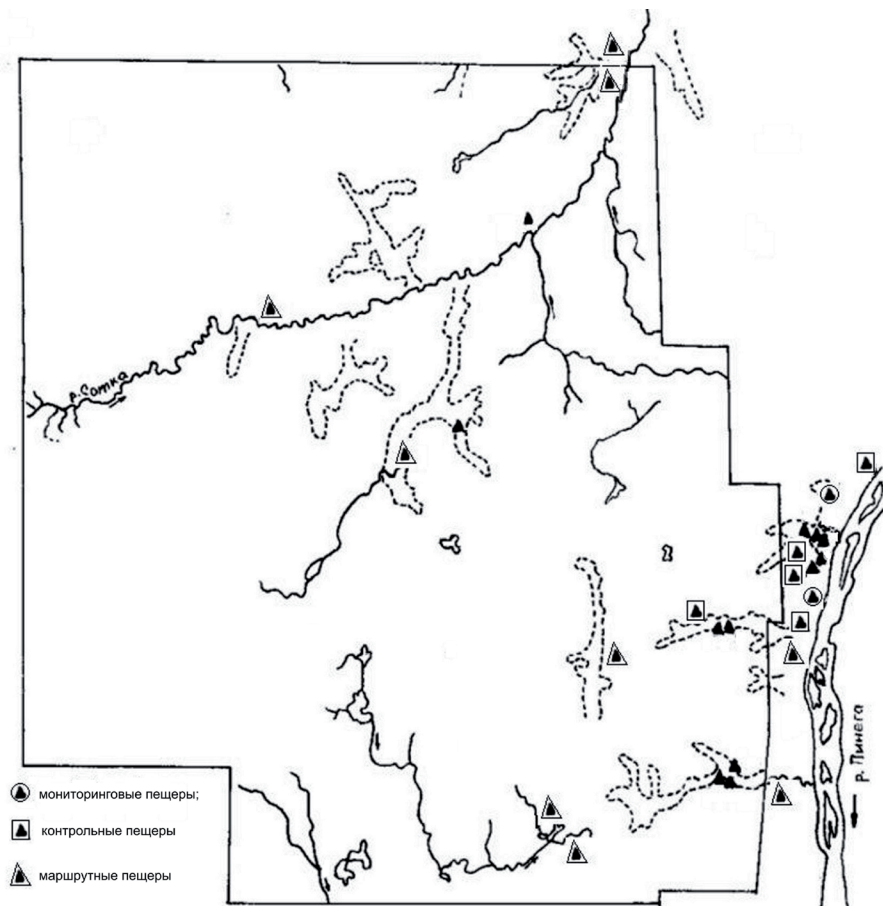


Рис. 1. Расположение сети мониторинговых пещер в Пинежском заповеднике и его охранной зоне

Последнее десятилетие отличалось более теплой и контрастной нестабильной погодой, наблюдались весенние возвраты холодов с выпадением сильных осадков в виде снега, жаркая погода в июле, сопровождающаяся засухой, ливневые осадки, приводящие к паводкам на реках, поздние ледоставы [1]. Отмечено значительное повышение среднегодовой температуры, которая возросла с 0,1 °С (период наблюдений 1978–1998 гг.) до 1,1 °С (за последнее десятилетие). Среднегодовое количество осадков соответственно составляет для указанных периодов 558 и 592 мм.

Определяющее значение имеет зависимость от аномальных климатических факторов: ливневых дождей, внесезонных снегопадов, резких похолоданий в период паводков.



Рис. 2. Мониторинговый пикет в пещере Г-1 (Певческая Эстрада)

**Динамика микроклиматических параметров пещер.** Микроклимат пещер территории характеризуют низкие среднегодовые температуры воздуха, его высокая влажность, незначительные скорости движения воздушных потоков. Большая часть температурных наблюдений была выполнена с помощью максимальных и минимальных термометров, что при шаге исследований в 1 месяц давало температурный интервал (амплитуду) лишь за этот период. Использование температурных логгеров (установленный интервал замеров через 3 ч.) значительно расширило возможности наблюдений.

Анализ многолетних рядов наблюдений показал общую тенденцию к снижению температур воздуха пещер за счет их снижения в летний период (рис. 3). Значения зимних температур остаются постоянными по данным, полученным в большинстве мониторинговых пещер. Увеличивается разрыв со среднегодовыми температурами воздуха на поверхности до 0,3–2 °С по различным пещерам.

Амплитуды перепада максимальных и минимальных температур воздуха для различных участков пещер увеличились с 2000 г. на 0,5–8 °С (рис. 4). Среднегодовые срочные температуры зон развития постоянных льдов понизились на 0,3–2,3 °С, а для зон сезонного оледенения возросли на 0,2 °С. Выявлены устойчивые тренды снижения максимальных и минимальных температур для зон постоянного оледенения и их стабильность или небольшой рост для пещер или участков с развитием сезонных льдов.

Относительная влажность воздуха пещер колеблется от 85 до 100 % в зимний период, тогда как паводковые и летние значения близки к 100 %. Скорости воздушных



потоков в пещерах, как правило, незначительны и составляют первые единицы-десятки см/с. При небольшом входном отверстии или в узких пережимах возможно увеличение скорости движения воздуха до первых м/с. Эти особенности проявляются в большинстве мониторинговых и контрольных пещер.

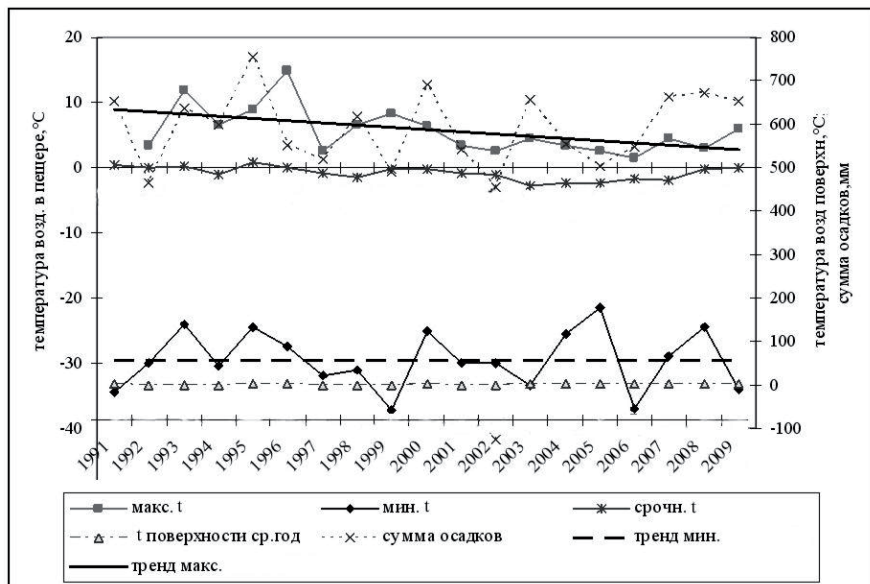


Рис. 3. Тренды динамики температурного поля пещеры Г-1

Первые опыты по использованию логгеров в пещерах показали хорошую возможность получения дополнительной информации, помимо прямого назначения приборов. Выявлена прямая зависимость температуры воздуха от паводковых понижений температуры воды в весенний период и от ее повышений во время летних дождевых паводков. Таким образом, возможно получать точную информацию о времени развития паводков в пещерах. Синхронный рост температуры воды и воздуха отмечается уже в день выпадения летних ливневых дождей, что говорит о высоких скоростях подземных вод. К сожалению, срок службы логгеров, установленных в воду, составляет менее 30 % от срока службы аналогичных приборов, измеряющих температуру воздуха. Прослеживается четкая взаимосвязь динамики температуры воздуха и его влажности в зимний период, отмечается четкое снижение влажности при падении температуры воздуха (рис. 5). В начале весенне-летнего периода – в первой декаде марта – в пещерах устанавливается 100 %-ная относительная влажность воздуха, которая сохраняется в течение всего летне-осеннего периода.

**Развитие пещерных льдов.** Ледяные отложения пещер ЕСР представлены пещерными льдами всех генетических классов, весьма разнообразными по морфологическим проявлениям. Особенности пространственно-временного распределения льдов пещер связаны с морфологией, аэро- и гидродинамикой полостей, климатическими изменениями современного периода. Типичными формами для северных пещер являются подземные наледи и жильные ледяные тела, льды-цементы, покровные льды и ледяные коры, сталактиты, сталагмиты и сталагнаты, ледяные кристаллы. Встречаются своеобразные формы – ледяные пробки и экраны. Первые развиваются на постоянных подземных ручьях, вторые – в зоне фронтального разбрызгивания водопадов и капельных источников. Минерализация льдов пещер может варьироваться в пределах 3 порядков (рис. 6).

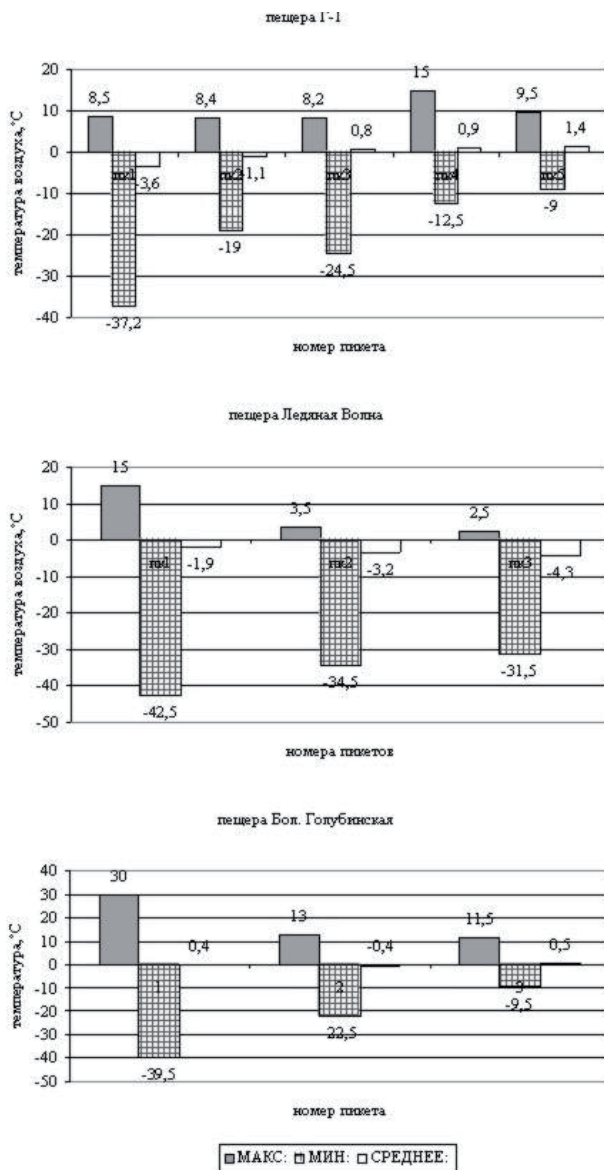


Рис. 4. Амплитуда температурного поля мониторинговых пещер.  
 Расстояние пикетов от выхода пещер: Г-1 (1988–2009): 1–20 м; 2–50 м; 3–85 м; 4–100 м; 5–145 м.  
 Ледяная Волна (1992–2004): 1–7,5 м; 2–50 м; 3–70 м.  
 Бол. Голубинская (1984–2009): 1–2 м; 2–25 м; 3–45 м

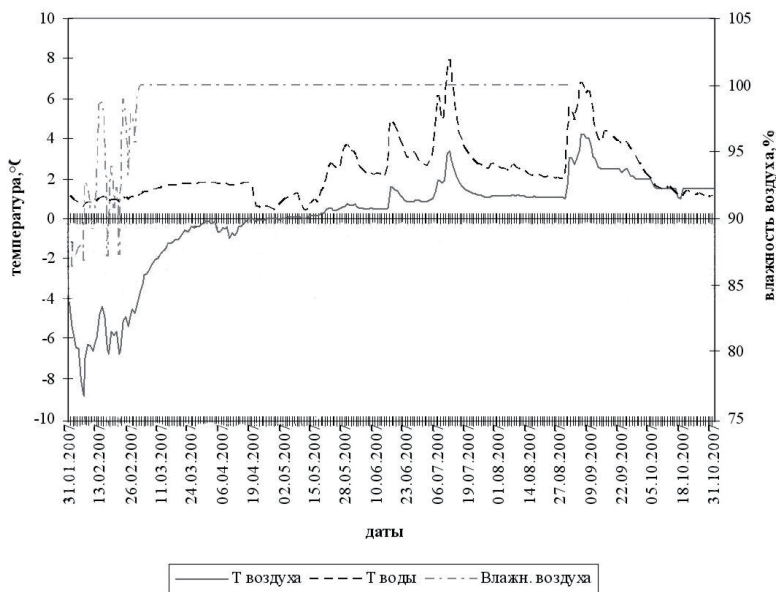


Рис. 5. Взаимосвязь температур воды, воздуха и относительной влажности воздуха в Большом зале пещеры Бол. Голубинская

Для сезонных льдов выделяются три цикла развития. Предзимний цикл характеризуется развитием ледяных кристаллов, сталактитов, сталагмитов и сталагнатов, наледей, кор, а также покровов на озерах и ручьях. Для предвесеннего цикла типично образование наледей на наклонных нисходящих входах пещер и в прибортовых зонах, а также рост кристаллов. Летний (послепаводковый) цикл проявляется в развитии конституционных льдов при промерзании переувлажненных рыхлых отложений, в росте ледяных кристаллов и натечных форм. В начале XXI в. развитие льдов летнего цикла является исключением, а не правилом.

В целом, отмечено сокращение сезонных льдов, смещение зон развития ледяных образований. Связано это с миграцией подвешенных водотоков и с изменениями температур воздуха на поверхности и в пещерах. В начале января 2006 г. отмечалось таяние льда на озере в пещере Большая Голубинская, к концу месяца озеро замерзло вновь. В 2007 г. озеро также замерзло лишь в январе. Зимой 2008–2009 гг. ледостав на озере впервые не отмечался. Это связано с длительным (до конца декабря) дождевым паводком и сохраняющейся до конца февраля высокой (до 2,5 °C) температурой воды. Более холодной зимой 2009–2010 гг. озеро замерзло в январе.

Основные объемы многолетних подземных льдов образуются в привходовых участках пещер и при близости к прибортовым зонам, в зонах отрицательных температур. Факторы воздействия на ледяные отложения в многолетнем цикле те же, что и во внутригидровом – температурные, аэро- и гидродинамические. Многолетние наледы встречаются в 25 % пещер территории ЕСП.

В настоящее время в пещерах Пинежья продолжается сокращение объемов многолетних льдов, а также сроков развития сезонного оледенения по сравнению с наблюдавшимися до середины 90-х гг. XX в. В пещерах отмечается усиление таяния многолетних подземных льдов благодаря кратковременному росту температур при дождевых паводках. Начало образования сезонных льдов возможно наблюдать на 1–2 месяца позже, что обусловлено затяжными осенними паводками на подземных водотоках.

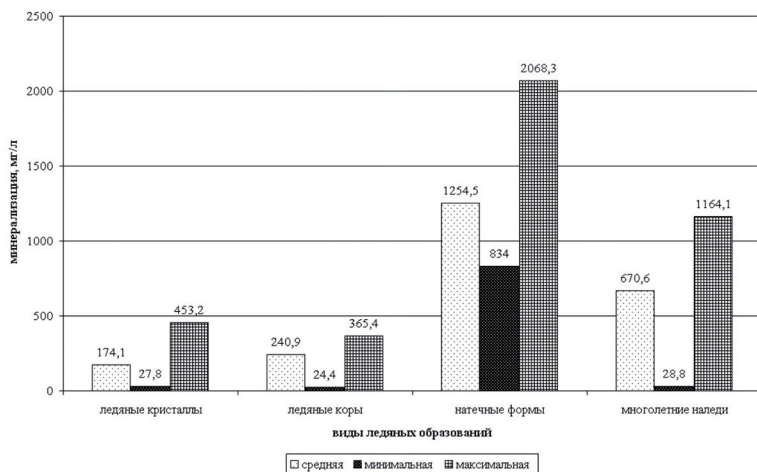


Рис. 6. Минерализация пещерных льдов

Устойчивый рост объемов льда в XXI в. был отмечен лишь в пещере Ледяная Волна, где он был вызван расположением наледи и водотока в различных ярусах пещеры. В 2004 г. вход в пещеру был закрыт крупным обвалом. В пещере Юбилейная (С-26), по данным экспедиционного обследования к 2005 г. вдвое (с момента открытия пещеры) сократился объем многолетней наледи, возраст которой (по данным радиоуглеродного анализа) составляет не менее 200 лет. Летом 2009 г. полностью растаяла наледь в пещере Г-1, также наблюдавшаяся с момента ее открытия.

**Динамика подземных вод.** В большинстве значительных пещер территории действуют постоянные ручьи и реки, либо через них в паводок происходит разгрузка крупных временных потоков. В ряде пещер имеются водопады, действуют источники, разгружающие подвешенные воды, более редкими для территории являются подземные озера. Обводненность пещер отличается высокой сезонной изменчивостью (их гидрогеологические параметры изменяются в пределах 2–3 порядков).

Амплитуда паводково-меженных уровней подземных потоков составляет 1,5–2 до 3,5 м, максимального значения она достигает при подпоре воды. Расходы подземных потоков меняются от 10–15 л/с в меженный период до 500–5000 л/с (зафиксированный максимум – 10 тыс. л/с) в паводок. Минерализация пещерных вод  $\text{CaSO}_4$  варьируется от 0,4–0,8 г/л в паводок до 1,8–2,5 г/л в межень. Температура воды обычно составляет от 0 до 2,5 °С, при максимуме до 5–8 °С во время летних дождевых паводков. С начала XXI в. прослеживается общая тенденция к снижению минерализации вод пещер, связанная с длительными снеговыми и дождевыми паводками, ростом скорости движения подземных вод. Аномально низкий уровень весеннего паводка был отмечен в 2006 г. В пещере Г-1 максимальный подъем зимнего подпорного паводка составил 1,2 м, тогда как в весенний паводок подъем уровня воды был на 0,6 м ниже (рис. 7). Подпорные паводки в зимний период развиваются при промерзании транзитных водопроводящих каналов ниже по течению ручья в пещере. Высота подъема воды может достигать 1,5–2,5 м, при ее промерзании образуются значительные массы льда.

**Развитие экзогенных геологических процессов (ЭГП)** происходит под действием сил гравитации, а также механической, химической и тепловой энергии водных потоков. За период наблюдений в пещерах выявлено более 700 проявлений ЭГП, преимущественно гравитационных, карстово-суффозионных и суффозионно-карстовых. Суммарный объем нарушений, выявленных в пещерах, превышает 13,6 тыс. м<sup>3</sup>. По объему и количеству это составляет около 12 % всех активизаций ЭГП на рассматриваемой территории.





Рис. 7. Аномально низкий подъем воды весеннего паводка маркирован водно-механическими отложениями, пещера Г-1

Наиболее крупные обвально-осыпные проявления связаны с гравитацией и термогравитацией, сопровождающейся закарстованием пород по трещинным зонам, а также с таянием многолетних льдов-цементов, крупных пластовых и жильных ледяных тел и многолетних сталагматов, повышающих устойчивость трещиноватых пород. Значительно воздействие водных потоков, разрушающих льды-цементы. Зона перепада паводково-меженных уровней подземных потоков составляет до 2–3,5 м, что приводит в годы высоких паводков к полному или частичному разрушению ледяных образований в пределах этой зоны. Гравитационные процессы преобладают в объемном и количественном соотношении (рис.8) как в привходовых зонах, так и внутри пещер.

В настоящее время активность ЭГП усилилась в большинстве пещер территории, отличавшихся стабильностью подземного рельефа 30–40 лет (с момента открытия). Объемы обвально-осыпных нарушений в пещерах варьируют от 2–5 до 50 м<sup>3</sup> для крупных блоков до крупных осыпей и обвалов с суммарными объемами в первые сотни кубических метров.

В ряде пещер заповедника и его охранной зоны: Конституционная, Медя Юбилейная (С-26), Сюрприз, Дворец Снежной Королевы, Ледяная Волна, Малая Голубинская, Большая Пехоровская, Высоцкого – происходит периодическое или полное закрытие входов. Тем не менее при закрытии входа пещера продолжает свое существование и дальнейшее развитие, возможно повторное их вскрытие. Исключительное явление отмечено пока лишь однажды, когда в 2001 г. пещера им. Леонида Земляка была полностью разрушена при крупном обвале правобережного обнажения р. Сотки.

**Прогнозные возможности** изменений состояния подземной среды в настоящее время ограничены коротким (менее 20 лет) временным рядом наблюдений, дающим достоверную информацию лишь для краткосрочных прогнозов. Однако уже сейчас возможно выделить ряд краткосрочных прогнозов развития экзодинамики для пещер изучаемой территории.

Быстрый сход снегового покрова ⇒ высокоскоростной паводок ⇒ размывы основания склонов ⇒ рост оползневых и обвальных процессов в течение 23 лет после скоростного паводка.

Высокий паводковый подъем уровня подземных вод ⇒ таяние льда-цемента в пещерах, полостях, трещинах ⇒ усиление обвально-осыпного и провально-просадочного процессов на поверхности и увеличение количества обрушений в пещерах.

Высокоскоростной паводок в пещерах ⇒ размыв вторичных отложений ⇒ их переотложение в зоне паводкового подпора или вынос заполнителя в дрены.



Рис.8. Закрытие входа пещеры Высоцкого при обрушении борта лога

**Размыв вторичных отложений.** Ливневые дожди (выпадение осадков за один день может достигать месячной нормы)  $\Rightarrow$  развитие паводков в пещерах, рост температуры воздуха, снижение минерализации.

Последствия воздействия аномальных по активности иницирующих факторов изменений подземной среды сказываются, как правило, в течение 2–3, максимально – до 10 лет.

За период наблюдений для пещер Европейского Севера выявлены значительные изменения динамических параметров. Исследования показали, что подземная среда значительно более изменчива, чем кажется на первый взгляд. Меняется микроклимат пещер, характер движения водных и воздушных потоков, конфигурация морфологических элементов залов и ходов за счет развития экзогенных геологических процессов, а также роста либо таяния подземных льдов, размыва и переотложения вторичного заполнителя. Изменения микроклимата пещер и динамики пещерных льдов являются четкими индикаторами трендов климатических вариаций современного периода.

Ведение мониторинга состояния подземной среды ограничено прежде всего отсутствием заказчика. В моем случае такая возможность предоставлена работой в заповеднике, поскольку одной из основных задач научных исследований на заповедных территориях является «наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника». Основные проблемы связаны не только с финансированием исследований, но и с неизбежными отказами техники, а также с изменениями микрорельефа пещер, развитием наледей либо с внезапными паводковыми подъемами уровней воды, осложняющими применение логгеров различного типа.

Перспективы дальнейших исследований динамических параметров пещер связаны с увеличением количества автоматических наблюдений за параметрами (прежде всего по гидрологическому режиму пещер), а также с расширением сети спелеомониторинга. На основании полученного опыта возможна организация сети локального и регионального мониторинга для научных и прикладных целей, а также для оценки состояния действующих или проектируемых спелеообъектов туристического назначения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компоненты экосистем и биоразнообразие карстовых территорий Европейского Севера России (на примере заповедника «Пинежский»). Архангельск, 2008. 351 с.
2. Малков В.Н., Гуркало Е.И., Монахова Л.Б. и др. Карст и пещеры Пинежья. М.: Ассоциация «ЭкоСт». 2001. 208 с.
3. Методика изучения карста. Пермь, 1963. Вып. 1–9.
4. Методика микроклиматических наблюдений в естественных и искусственных полостях в трещиноватых закарстованных породах и во льдах. Пермь, 1982. 8 с.
5. Методические рекомендации по изучению поверхностных и подземных вод в карстовых районах. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 150 с.
6. Проблемы изучения карстовых полостей гор южных областей СССР. Ташкент, 1983. 95 с.
7. World longest gypsum caves. Compiled by: Bob Gulden – November 05. 2008. [электронный ресурс]. URL: <http://www.caverbob.com/home.htm>.

**Б.Р. Мавлюдов**

*Институт географии Российской академии наук, Москва*

### **ГИГАНТСКИЕ ГИПСОВЫЕ КРИСТАЛЛЫ В ПЕЩЕРАХ НАЙКА (МЕКСИКА)**

---

**B.R. Mavludov**

*Geography Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow*

### **GIANT GYPSUM CRYSTALS IN CAVES OF NAICA (MEXICO)**

#### **Summary**

It were shown results and research methodic of giant gypsum crystals in caves of Naica.

#### **География и история**

Полости с гигантскими кристаллами были обнаружены в окрестностях городка Найка в Мексике [1, 2]. Найка – это маленький шахтерский городок, расположенный на склонах небольшого горного массива в северном мексиканском штате Чиуауа, в 130 км к юго-востоку от одноименной столицы штата и в 40 км от города Делисиас с населением более чем 100 тыс. жителей.

На наречии местных жителей слово «Naica» означает «место без воды», но более вероятным считается, что термин этот имеет тарахумарское происхождение, пришедшее от корней языка рамамури «Nai» (место) и «ка» (тьма), что означает «тенное место». Это название оправдано тенью от изолированной горной цепи близ городка на окружающую пустыню.

История Найка, кроме присутствия в окрестностях местных апачей, нападавших в XVI-XIX столетиях на экипажи на древней королевской дороге к Чиуауа, связана с ростом горнодобывающей промышленности, которая в настоящее время известна во всем мире благодаря мексиканской компании «Пенолес» («Penoles»).

Полезные ископаемые в районе Найка были обнаружены в 1794 г. Сначала здесь добывали золото и серебро. Разработка залежей полисульфида, содержащего серебро, цинк и свинец, началась только в 1900 г. и продолжается до настоящего времени добывающей компанией «Пенолес». Найка является одной из самых крупных шахт в Мексике.

Вход в шахту Найка расположен на северо-западной стороне антиклинальной структуры, которая сложена карбонатами и возвышается над окружающими песками. Гряда Сьерра Найка, имеет длину 12 км, ширину 7 км, среднюю высоту 1700 м и ориентирована с северо-запада на юго-восток. Горная цепь Сьерра Найка разбита системой сбросов и трещин, которые идут параллельно ее главной оси. Вдоль этой системы трещин расположены основные жилы сульфида и четыре пещеры, которые

известны к настоящему времени (Espadas, Ojo de la Reina, Velas и Cristales). У пещер отсутствуют естественные входы, и их можно сравнить с глубоко расположенными гигантскими жеодами.

Высота равнины, окружающей Сьерра Найка, приблизительно равна 1250 м, а вход в шахту находится на высоте 1385 м. Все глубины шахты даются относительно ее входа.

Шахта внутри достигает уровня грунтовых вод на глубине около 120 м, т.е. приблизительно на высоте равнины. Чтобы поддерживать шахту в рабочем состоянии, из нее откачивается вода. Это позволило понизить уровень грунтовых вод до –850 м. В настоящее время интенсивность откачки воды составляет около 1 м<sup>3</sup>/с.

В 1910 г. при проходке штрека на глубине 120 м шахтеры обнаружили первую пещеру. Она имела длину около 80 м, и ее стены были полностью покрыты саблевидными гипсовыми кристаллами до 2 м длиной, из-за чего пещера получила свое название Cueva de las Espadas (пещера Мечей). Красота этой пещеры поразила людей, которые сохранили ее от уничтожения, оборудовав деревянными лестницами для посетителей.

В апреле 2000 г. братья шахтеры Елой и Франсиско Хавьер Дельгадо, прокладывая исследовательский туннель на глубине около 300 м, пересекли очень маленькую галерею в известняке.

Франсиско с трудом пролез в открывшееся отверстие и оказался в пещере, подобной жеоде, диаметром около 8 м и полной гипсовых кристаллов, похожих на кристаллы из пещеры Мечей, но больших размеров и более захватывающих. Полость назвали Ojo de la Reina (Глаз Королевы). Братья, очарованные открытием, приостановили проходку и сообщили о находке директору шахты. Инженер Роберто Гонсалес Родригес, который заказывал эту работу над туннелем, предложил продолжить ее в другом направлении, чтобы не повредить кристаллы.

Через несколько дней была обнаружена новая полость диаметром около 30 м, где были найдены гигантские гипсовые кристаллы длиной более 10 м и более чем 1 м толщиной. Однако шахтерам пришлось приостановить исследование полости из-за чрезвычайных условий внутри нее. Температура достигала 50 °С и влажность воздуха составляла почти 100 %. Такие условия могли привести к фатальному исходу в течение нескольких минут.

Как и прежде, направление туннеля изменили, а полость изолировали стальной дверью, чтобы предотвратить разбой. Пещеру называли Cueva de los Cristales (пещера Кристаллов), и исключительная природа открытия очень скоро стала известна специалистам во всем мире. Первые фотографии из пещеры были получены в январе 2001 г.

Экологические трудности и желание компании горной промышленности сохранить это сокровище помешали провести систематические исследования, съемку и даже полное обследование до начала «Проекта Найка» в январе 2006 г., хотя первоначально полость планировалось оборудовать для посещения туристов.

### **Геология**

Вся региональная шкала последовательности карбонатов Найка состоит из известняка, доломитового известняка и кальцитового доломита с линзами ангидрита. Третичная интрузивная магматическая деятельность, которой характеризуется эта часть североамериканского субконтинента, вызвала развитие кислых даек в пределах карбонатной серии приблизительно 26,2–25,9 млн. лет назад [5]. Магнитометрические исследования обнаружили магматические породы приблизительно в 4 км к югу от Найка на глубине 2,5–5 км, в то время как бурение скважины в 2007 г. около шахты встретило магматические породы на глубине около 1140 м под поверхностью.

Полисульфидные (содержащие Pb, Zn, Ag) рудные тела сформированы гидротермальными потоками, связанными с третичными дайками. Минеральные отложения, состоящие главным образом из пирита, пирротина, сфалерита, галенита и халькопирита, развиты в пределах даек и вмещающих карбонатных пород. Вблизи контактов карбонаты сильно изменены и частично преобразованы в карбонатные



силикаты. В течение более поздней стадии, когда нагретые флюиды становились более холодными, в пределах рудных тел формировались жилы кальцита, ангидрита и кварца.

Циркуляцию флюидов контролировали две системы сбросов, что определило локализацию минеральных отложений. Самые важные сбросы: Гибралтар, Найка и Монтана (рис. 1). Эти структуры до сих пор контролируют термальные водные потоки в пределах антиклинали Найка: почти вся вода, обводняющая глубокие шахтные галереи, поступает из трещин, связанных с этими сбросами. Их важная роль в циркуляции воды также подтверждена фактом, что все главные карстовые пещеры также связаны с этими сбросами (рис. 1).

Вся область Найка находится в пределах тепловой аномалии. Вода, поступающая в шахтные галереи, имеет температуру, близкую к 53 °С. Оказалось, что шахтная вода имеет метеорное происхождение, а длительность ее пребывания в пределах термального водоносного слоя оценивается более чем в 50 лет.

Приблизительно через 5–7 лет ожидается конец добывающих действий. Следствием будет затопление шахты, таким образом, гигантские гипсовые кристаллы будут находиться под слоем горячей воды глубиной 170 м.

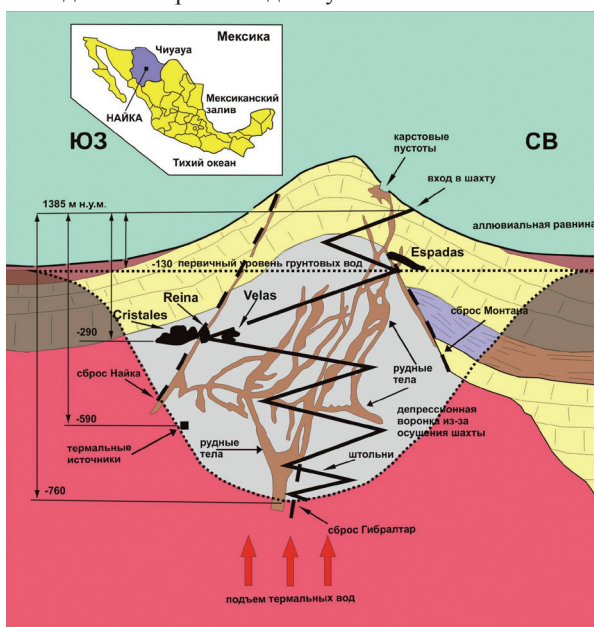


Рис. 1. Схема строения шахты Найка, рудных тел, естественных полостей, тесно связанных с главными тектоническими сбросами и уровнем грунтовых вод [5]

### Пещера Кристаллов и связанные с ней проблемы

Пещера Кристаллов представляет собой замкнутую полость длиной 109 м (ЮВ ветвь длиной 42 м, СВ ветвь – 68 м; рис. 2). Площадь зала составляет 1100 м², объем – около 6000 м³, перепад высот между крайними точками 12 м. В полости обнаружено около 160 гигантских гипсовых кристаллов, из которых к 2008 г. 149 штук были специально обмерены и зарисованы. Самый большой кристалл получил собственное имя – Сin; он был найден в СВ части главного зала. Его длина 11,4 м, объем 5,0 м³, а вес оценивается более чем в 12 т.

Пещеры Найка сформировались на большой глубине в очень горячих и минерализованных водах в почти полной изоляции. С начала 1990-х гг. происходит откачка воды из шахты, что создало для кристаллов новую нестабильную ситуацию.

Ухудшило ситуацию случайное вскрытие полостей десятилетие спустя, а также из-за администрации шахты, которая закрыла и запретила доступ в них.



Рис. 2. Гигантские кристаллы гипса в пещере Кристаллов [1]

Изучение уникальных кристаллов показало, что их состояние в настоящее время не стабильно и не равновесно. Поэтому их изучение напоминает попытку понять физиологию неизвестной рыбы, в то время как она умирает, извлеченная из воды... С другой стороны, если бы кристаллы находились в естественном состоянии, то мы не смогли бы даже мечтать об их наблюдении. В настоящее время воздействие человека на кристаллы не может быть устранено как в фазе исследования, так и в фазе документации. Кроме того, именно шахтные работы позволяют сделать полость обезвоженной. Антропогенное воздействие на пещеры не может быть устранено, но оно должно быть ограничено в максимально возможной степени.

Причины ущерба, наносимого кристаллам, оказались многочисленными. Во-первых, это повреждения, вызванные передвижением людей в полости. Гипс – очень мягкий и чувствительный материал, который очень легко бьется или царапается. Чтобы уменьшить такую возможность повреждения кристаллов, были промаркированы частично защищенные стандартные проходы, а специально изготовленная обувь имела очень мягкие и сглаженные подошвы. Перед входом в полость ботинки и одежда посетителей специально очищались. Их также обучали особенностям перемещения, чтобы уменьшить повреждение кристаллов.

Во-вторых, это общее охлаждение пещеры, поскольку температура в ней понижается на 0,5 °C ежегодно из-за вентиляции шахты. Большой вред наносит даже открытие входных дверей. Это вызывает слабую циркуляцию воздуха в полости, которая существенно возрастает во время проведения взрывных работ в шахте. Вместе два процесса начинают вызывать конденсацию, которая может нанести вред кристаллам, так как вода растворяет гипс и преобразует его в крошечные кристаллы карбоната кальция, создавая белый налет на их поверхности. Пока что этого не происходит, но это должно быть предотвращено любой ценой. Исследователи также боялись ущерба, вызванного отбором научных образцов. Но оказалось, что всегда имелась возможность собирать крошечные образцы, использовать уже сломанные фрагменты кристаллов или даже брать образцы из других частей шахты.

Исследования показали, что обрушения кристаллов были очень редки. Три очень крупных кристалла упали в давние времена (около 100 тыс. лет назад), возможно из-за землетрясений. Один кристалл, тонкий и возможно слишком длинный, разрушился недавно, предположительно, когда пещера освобождалась от воды. Наконец, были потери двух или трех маленьких кристаллов на своде полости.

Риск ущерба, вызванный грабителями, был полностью устранен сразу после обнаружения полости установкой укрепленной двери. К тому же, сам размер кристаллов защищает их, и весьма неплохо, так как перенос большого веса на таком коварном ландшафте и в сложных температурных условиях почти невозможен. Однако

уже при первом исследовании в специальных костюмах «Толомея» был найден один кристалл длиной 3 м со стороны около 15 см, который был разрезан напополам еще до установки двери.

Пещера Кристаллов была описана как самая необычная пещера на планете и, конечно, станет наиболее изученной. Гигантские кристаллы Найка были сформированы под водой, но последующее понижение уровня воды при откачке открыло нам доступ к ним, остановило их рост и может, в конечном счете, привести к их разрушению. Мы не знаем, что случится с ними в ближайшем будущем; куда приведет человеческое влияние – к их концу или к их спасению. Мы не можем даже толком понять, что можно назвать концом или спасением для пещеры Кристаллов. Неизвестно, много ли еще подобных полостей существует в земной коре, или это геологический и минералогический уникум.

Будущее шахты включает также судьбу Найка и ее жителей, которые извлекали полезные ископаемые из глубин Сьерры в течение нескольких поколений. Если шахтная деятельность однажды закончится, присутствие пещеры Кристаллов, поможет этому месту выживать.

Первый осмотр пещеры членами Ассоциации «La Venta» был предпринят в начале 2002 г., когда были сделаны первые фотографии и снят фильм. Температура на уровне пола в пещере тогда оказалась равной 47,1 °С, а на высоте 2 м – 47,4 °С, влажность воздуха достигала 100 %. В таких условиях тело человека не может защищаться от высокой температуры воздуха посредством испарения пота, что похоже на погружение тела в текущую воду со слишком высокой температурой. При этом у человека возникает чувство обжигания, потому что клетки тела начинают разрушаться при 43 °С. Уже в первой экспедиции исследователи поняли, что проведение любых наблюдений в пещере практически невозможно без применения определенных технических методов и использования специальной защиты.

Возникла необходимость создать оборудование и обмундирование, которые позволят исследователям дольше находиться в условиях высоких температур и которые открыли бы возможность исследовать не только пещеры Найка, но также и другие климатически подобные полости. В сотрудничестве между «La Venta», Отделом общей физики университета Турина и компанией «Ferrino» был создан первый прототип кондиционируемого костюма и специальных дыхательных устройств. Эту систему назвали «Толомея» в честь участка Ада в поэме Данте.

В январе 2006 г. «La Venta» подписала соглашение с компанией «Penoles», держателем добывающей концессии, на исключительные права на научные исследования и фотографическую документацию всех пещер, пересеченных шахтой.

Тогда же состоялись первые испытания костюмов «Толомея», с помощью которых участники экспедиции оставались внутри пещеры больше часа и предприняли первую грубую съемку полости. Серия из восьми экспедиций (данные на январь 2008 г.) привела к радикальному расширению знаний об этой пещере [2].

Проект продолжается в течение нескольких лет (проходит по три экспедиции ежегодно). Заключительная цель – завершение исследований (к настоящему времени находится в стадии реализации), а затем защита пещеры и распространение информации относительно этого экстраординарного явления.

### **Враждебная окружающая среда и использованные методы**

На первый взгляд, температуры, с которыми сталкиваются люди в пещере Кристаллов, кажутся не особенно высокими. В других частях нашей планеты отмечены более высокие значения температуры: это 58 °С в Эль-Азиз в 1922 г. (Ливия) и 57 °С в Долине Смерти в 1913 г. (Калифорния, США) [2]. Однако воздух в этих районах очень сух, и человеческое тело может поддерживать нормальную температуру кожи благодаря непрерывному испарению пота, которое позволяет даже долгосрочное выживание, пока доступна питьевая вода.

Но если воздух имеет высокое содержание влаги, тепловой эффект радикально изменяется. С одной стороны, испарение пота прекращается и тело становится неспособным к избавлению от высокой температуры. С другой стороны, что намного

более серьезно, кожа и внутренняя часть легких ведут себя как «холодные стены», на которых водяной пар конденсируется, выделяя большое количество тепловой энергии.

Невозможность процессов испарения в атмосфере, насыщенной влагой, происходит уже при температурах выше 35–37 °С, что быстро ведет к тепловому удару из-за того, что тело не способно избавляться от тепла, которое оно производит [6].

При немного более высоких температурах начинаются другие процессы, связанные уже не с физиологией тела, а с физиологией единичной клетки. Максимальная приемлемая температура воды, в которую еще может погрузиться человек – 40–42 °С. При более высокой температуре воды ощущается нестерпимое жжение, т.к. при температуре выше 42 °С человеческие клетки разрушаются и умирают. По этой причине очень высокий жар (выше 41,8 °С) наносит необратимые повреждения человеческому организму.

Именно поэтому в очень влажной атмосфере температура выше 32–35 °С является фатальной примерно через час, но выше 42 °С она становится фатальной примерно через десять минут и, кроме того, есть риск получения ожогов.

В 1960-е гг. в Канаде был разработан индекс Humidex, показывающий эффективную температуру, испытываемую человеческим телом, как функцию температуры и влажности воздуха [6, 9]. На основе измеренных значений температуры и относительной влажности воздуха можно получить значение температуры, которую ощущает человеческое тело. При значении индекса Humidex выше 45 возникает серьезная опасность здоровью, а если он выше 54, то необходимо принимать в расчет риск смерти (рис. 3).



Рис. 3. Воспринимаемая температура воздуха (Humidex) [9]. При индексе < 30 – некоторый дискомфорт, 30–40 – сильный дискомфорт, > 45 – опасно, > 54 – неминуем тепловой удар и фатальный исход

В пещере Кристаллов этот индекс колеблется между 90 и 95, что ограничивает время выживания в ней без защитных костюмов до 5–10 мин.

Температура воздуха действительно невыносима, особенно при первом воздействии. Ей можно сопротивляться полутолым в течение нескольких минут, потому что требуется некоторое время, чтобы стало действительно опасно. Тем временем температура кожи сохраняется на терпимом уровне из-за интенсивного потока «холодной» крови благодаря огромному периферийному расширению сосудов. Этот эффект временный и подвергает сердце большой нагрузке. Через нескольких мгновений оно бьется так же, как после физических упражнений, и появляется ощущение головокружения. Наибольшие опасности в пещере – конденсация влаги в легких, риск смерти в результате острого легочного отека, а также риск ожога глаз.



Оказалось, что защита нашего тела от высоких температур – намного более трудная задача, чем защита его от холода, потому что организм человека сам производит тепло – около 100 Вт, и дополнительно 100–300 Вт выделяется при физической деятельности. Чтобы выживать в холодных условиях, вполне достаточно иметь хорошую теплоизоляцию тела. Увеличение производства тепла, можно компенсировать сокращением тепловой изоляции, например, если снять свитер.

В очень горячей и влажной атмосфере окружающее тепло передается человеку не только проводимостью через воздух, но и через скрытую энергию конденсации, если пар конденсируется на тело человека, а его поверхность имеет температуру ниже «точки росы» окружающего воздуха. К этому теплу, получаемому от воздуха, мы должны добавить еще тепло, произведенное нашим телом, которое сильно увеличивается при физической активности.

Первые исследования пещер Найка были выполнены с минимальной одеждой, в соответствии с общей уверенностью, что в теплой атмосфере лучше быть полуголым. В течение первого осмотра пещеры в 2002 г. были проведены первые испытания, нацеленные на продление возможности оставаться внутри полости, увеличив теплоизоляцию и используя систему для охлаждения вдыхаемого воздуха, а также направив струи холодного воздуха на глаза, чтобы предотвратить их ожоги. Время безопасного пребывания в пещере при этом увеличилось до 30 мин.

Эти испытания позволили с научной точки зрения разработать личные кондиционирующие системы, которые позволяют работать в таких условиях до 1,5–2 ч. Система состоит из двух частей: комбинезона и дыхательного устройства. Комбинезон состоит из пассивной системы поглощения тепла, так называемого «ледяного костюма», представляющего собой одежду с большим количеством примыкающих друг к другу кармашков, заполненных мешочками со льдом. «Ледяной костюм» находится между слоями теплоизоляции и отражателей излучения, направленных к телу и наружу. Внешний слой костюма водонепроницаем, чтобы препятствовать поступлению конденсационной влаги внутрь. Способность поглощения тепла таким костюмом составляла около  $-0,5$  кВтч, что позволяет находиться в пещере в течение 50–60 мин. при интенсивной физической деятельности и до 80–90 мин. в спокойном состоянии. Была также разработана более легкая версия костюма, поглощающая  $-0,15$  кВтч энергии, для пребывания в полости в течение 15–30 мин., что во многих случаях вполне достаточно.

Разработка дыхательной системы кондиционирования воздуха было намного более трудной, поскольку она содержала схему активной вентиляции и участки накопления конденсата. Воздух проходит по извилистому пути, контактируя со льдом, и затем дует ко рту и глазам через теплоизолированную трубку. Были изготовлены также две модели этих аппаратов.

### **Топографическая съемка**

Топографическая съемка пещеры позволяет сделать такой рисунок, чтобы понять ее соотношение с окружающими структурами горных пород и создать трехмерную модель пещеры. Съемка обычно выполняется командой из двух человек. Экстраординарная природа пещеры обязала делать съемку и записи деталей на уровне точности, которая была бы смешной в любой другой пещере. Измерения выполнялись с большим трудом и в одном случае проходили на пределе выживания. Самым трудным было решить, что точно должно быть снято. Проблема в пещере Кристаллов состояла в том, что перед началом топосъемки точно не было известно, что именно важно, и поэтому был проведен целый ряд съемок увеличивающей точности. Было не до конца ясно, на чем акцентировать внимание, когда исследователи имели дело со стеной, покрытой крупными кристаллами: на стену или на кристаллы, как заполнение полости. То же самое касалось и самых крупных кристаллов: они должны были быть отрисованы и сняты по отдельности, или единой массой, или просто следовало указывать место их расположения. В зависимости от выбранного подхода полученные варианты карты пещеры могли сильно отличаться один от другого.

К началу 2008 г. было снято 217 м главного маршрута и несколько десятков

метров соединяющихся маршрутов, проведено приблизительно 20 человеко-часов в этой «горячей духовке» [4]. По результатам топосъемки периметр главного зала пещеры составил 109 м, при этом ответвление на юго-восток имело протяженность 42 м, на северо-восток – 68 м (рис. 4) [2]. Однако пещера обещает продолжение. Была начата систематическая топографическая съемка единичных мегакристаллов. Оценено, что главный зал содержит приблизительно 100 мегакристаллов и 60 в ЮВ и СВ ветвях. В ближайшие годы предполагается выполнить большие проекты съемки с применением новых технологий. Это позволит со временем получить более точную карту пещеры.

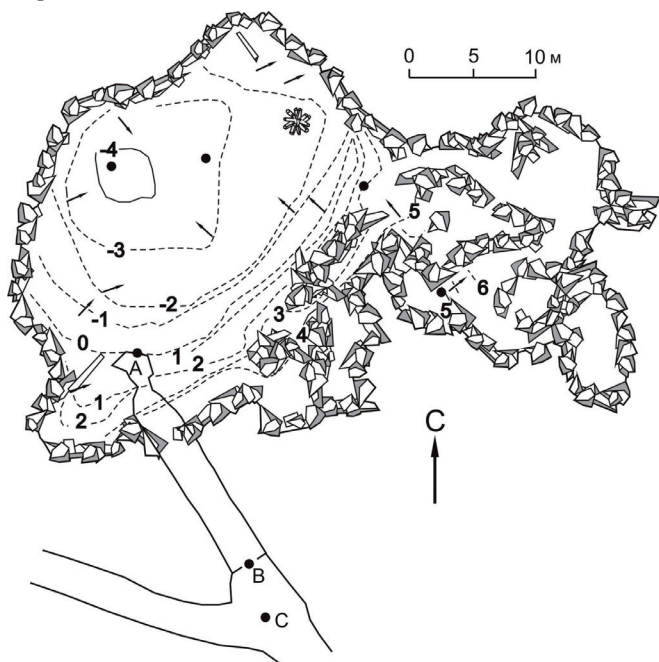


Рис. 4. План пещеры Кристаллов [2]: А – вход в пещеру, В – дверь, С – базовый лагерь.  
Сечение горизонталей 1 м. Черные круги – закрепленные точки

Любое действие в пещере встречает много трудностей. Съемка особенно трудна. Во-первых, ты находишься внутри тяжелого костюма, при этом незакрытые участки кожи горят. Во-вторых, чтобы переговариваться, нужно снять маску и почувствовать горячий пар, который стремится войти в легкие. Это очень опасно. Поэтому приходится тщательно готовиться перед входом в полость; старательно обдумывать, что и как делать, чтобы затем выполнить все действия в пещере за самое короткое время. Фаза, которая предшествует одеванию в вестибюле, является сложной и напряженной, а «спуск» – является интенсивным и опасным. По этой причине работа может проходить беспокойно, второпях, с потерей большого количества времени. Необходимо, чтобы движения в пещере были медленными и неторопливыми; в противном случае нахождение в пещере может привести к волнению, гипертермии и спутанности сознания.

Кроме того, существовала проблема времени, необходимого для проведения съемки, которое очень ограничено. Съемка – действие, которое не должно прерываться: она должна начинаться и заканчиваться за один выход, особенно если главная цель – точность. Но достичь точности в пещере было нелегко. Другая трудность – проблема рисования. В спешке затруднительно делать точные движения, руки трясутся слишком сильно и зарисовки не получаются. Была использована следующая технология: на

каждом пикете делалась фотография с его номером, а по ней зарисовки делались снаружи. В условиях пещеры инструменты также плохо работали. Кроме того, все, вносимое в пещеру (даже блокнот), должно было быть предварительно нагрето, иначе конденсация делала невозможным любое чтение или запись. Оказалось, что луч лазерного дальномера не отражается от кристаллов, и поэтому приходилось нацеливать луч на напарника или на одну из редких полос горной породы, которые иногда встречались среди огромного числа гипсовых кристаллов.

### **Климатические исследования**

В пещере Кристаллов была предпринята комплексная серия измерений с целью понимания ее текущего физического состояния. Работа была выполнена Отделом общей физики Университета Турина (Италия). Естественное состояние пещеры – находится на глубине 170 м от поверхности, погруженной в минерализованную воду с температурой 54°C. Теперь пространство рядом с пещерой заполнено воздухом в проветриваемых штольнях с температурой 35–38 °C. В физике такое состояние называют «переходным». Условия в полости испытывают «падение» (переход) к новому состоянию равновесия, которое все еще неизвестно, но на которое возможно удастся влиять в некоторой степени в будущем. Со временем все экологические параметры полости изменялись намного больше и необратимо, так что методы, обычно используемые для изучения пещер, оказались здесь неприменимыми. Климат нормальной пещеры является фактически статическим с минимальными колебаниями (ежедневными или сезонными) вокруг точки равновесия. Эти колебания связаны с формой пещеры, но они также частично определяют ее, потому что они в состоянии вызывать воздушные потоки и процессы конденсации, которые через тысячелетия могут значительно изменить форму полости. При изучении обычных пещер речь идет о системах, которые находятся почти в равновесии и поэтому их относительно легко изучать.

Климат пещеры Кристаллов меняется необратимым образом и к тому же быстро. Это происходит потому, что пещера находится внутри теплового массива горных пород, богатого водой, но в последние несколько лет пещера оказалась окруженной сухими галереями, которые проветриваются холодным воздухом, чтобы позволить шахтные действия.

Климатические измерения показали различные явления. Пещера продолжает охлаждаться приблизительно на 0,5 °C ежегодно, потому что она теряет тепло проводимостью к соседним шахтным галереям к северо-западу, а также излучением по подводящей штольне [2, 3]. Отмечено, что ближе к своду пещеры воздух устойчиво более теплый и более влажный, чем у ее пола и близко к выходу. Неожиданным оказалось то, что при довольно устойчивой температуре с тенденцией к медленному снижению влажность воздуха сильно менялась, как в короткие, так и в сезонные периоды. Это происходило, вероятно, из-за проникновения в полость воды с поверхности вдоль трещин, созданных шахтной деятельностью. Кроме того, в полости возникает воздушный поток около 10 л/с, который появляется, когда входная дверь в пещеру открыта.

Измерения показали, что известная часть пещеры является только фрагментом намного более обширной полости, которая в зависимости от внешних условий обеспечивает циркуляцию воздуха в пещере Кристаллов. При этом наблюдение за воздушными потоками показывает, что пещера связана с шахтой через другой проход, вероятно трещинный. Последние исследования дали основание предполагать, что температура воздуха в пещере Кристаллов стабилизировалась [3]. Данный факт означает, что при сохранении существующих климатических условий в полости растворения гипсовых кристаллов не произойдет.

### **Происхождение и развитие гигантских кристаллов**

До открытия пещер Найка были известны четыре различные реакции, которые вызывали развитие больших гипсовых кристаллов в пещерах: испарение, кислотная агрессия, окисление сульфида и неконгруэнтное растворение [8]. Исследование геохимических и физико-химических характеристик термальных вод района

Найка свидетельствует о существовании нового механизма происхождения и развития гигантских гипсовых кристаллов, основанного на нарушении равновесия растворимости гипс-ангидрит.

При 59 °С растворимость гипса и ангидрита одинакова. При понижении температуры растворимость гипса становится меньше, чем у ангидрита (рис. 5). Поэтому ниже этой температуры раствор, насыщенный относительно ангидрита, автоматически является пересыщенным относительно гипса, вызывая отложение гипса и недосыщение относительно ангидрита.

Чтобы не изменилась ситуация на диаграмме температуры ниже 59 °С обеспечивает очень устойчивый механизм системы кристаллизации гипса, близкий к равновесному. Это косвенно подтверждается широким распространением эвгедральных целестиновых кристаллов ( $\text{SrSO}_4$ ) в тонком слое глины и окислов железа в основании гипсовых кристаллов во всех пещерах Найка, а также включениями целестина в гипсовые кристаллы.

Развитие немногих огромных гипсовых кристаллов вместо многочисленных маленьких оправдано тем, что снижение температуры происходило чрезвычайно медленно в течение относительно долгого интервала времени (данные из жидких включений демонстрируют, что гигантские кристаллы развивались в температурном диапазоне 55–58 °С).

Для оценки возраста гигантских кристаллов в пещерах Найка несколько образцов их обломков были взяты для датировки  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  методом. Результаты вполне удовлетворительны, поскольку полученные возрасты находятся в пределах достоверных диапазонов. Первый образец из внутреннего ядра (приблизительно 13 см от внешней поверхности) сложенного призматического кристалла в пещере Кристаллов дал возраст  $164 \pm 48$  тыс. лет. Второй образец из пещеры Королевы из основания пинакоидного кристалла в нескольких сантиметрах от контакта с известняком показал возраст  $213 \pm 12$  тыс. лет [5]. Вероятно, это возраст начала отложения гипса в пещере на уровне –290 м.

Чтобы проверить верность этого предположения, была построена экспериментальная установка, помещенная под один из капелей воды на уровне –590 м, где первичная, еще не загрязненная термальная вода стекает с потолка шахтной галереи. Здесь были воспроизведены условия полного насыщения раствора, существовавшие в пещере до ее осушения. Единственным неизбежным отличием современной воды от питавшей кристаллы в пещерах Найка около 20 лет назад, является ее температура, которая упала до 51 °С. Кроме того, произошло изменение ионного состава воды, как следствие изменения ее солености от первичной – около 4–5 % до 2 %, и изменение срока пребывания раствора в полостях – от 1–2 дней ранее до 2–3 мин. в экспериментальной установке. Однако эти эффекты не учитывались, поскольку их влияние оказалось ниже порога значимости. Установку соорудили в конце 2006 г., и при длительности эксперимента около 480 дней была получена очень хорошая корреляция между ростом кристаллов и временем, которая составила  $0,004 \pm 0,0002$  мм/год (с учетом исправления для температурного фактора). Экспериментально измеренная скорость роста гипса дает экстраполируемый возраст для самых больших кристаллов около 250 тыс. лет, что близко к полученному U/Th методом для кристалла из пещеры Королевы.

Используя данные по кинетике растворения кристаллического гипса и предполагая, что кинетики его растворения и осаждения являются симметричными относительно точки насыщения (т.е. нет порога ядрообразования), можно сделать вывод, что скорость роста около 0,004 мм/год приводит к пересыщению раствора около 1,005. Эта значение соответствует вероятности образования ядер кристаллизации с частотой менее 1 на миллион, что является вполне разумным для роста ста гигантских кристаллов в течение двух–трех сотен тысяч лет.

Кроме того, следует подчеркнуть, что пещеры Найка важны не только из-за гигантских гипсовых кристаллов, но и потому, что содержат две новых формы гипса. Первая, названная парусами (sails), была обнаружена в пещере Паруса. Это очень тонкие

волокна гипса, развитие которых связано с самым первым моментом искусственного понижения уровня грунтовых вод на глубине –290 м. Эти кристаллические формы в основном сформировались за несколько дней или месяцев приблизительно 20 лет назад, и их развитие и форму полностью контролировал капиллярный подъем раствора и сильное испарение влаги. Вторая, названная «гипсовые крюки» (gypsum hooks), наблюдалась только в верхней части пещеры Мечей. Это частично повторно растворенные и согнутые кристаллы. Их развитие контролировалось конденсацией и последовательным сильным нагреванием вершин кристаллов, когда пещера стала частично проветриваемой во время последней фазы присутствия термальных вод [5].

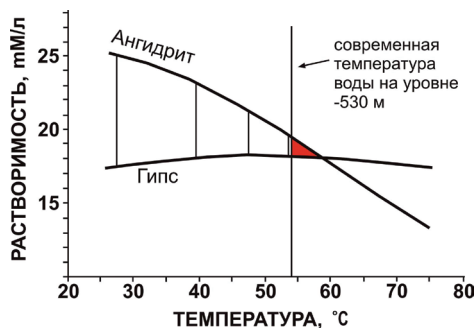


Рис. 5. Диаграмма растворимости гипс–ангидрит [5]. Красное – участок, соответствующий условиям роста гигантских кристаллов гипса

### Минералогические исследования

Эти исследования очень перспективны, потому что в пещерах содержатся чрезвычайно редкие минералы. Они, как и мегакристаллы, свидетельствуют об исключительной природе событий, которые сформировали глубины Сьерра Найка. Уже доказано присутствие 40 различных минералов в пещерах Найка, 10 из которых – новые для пещерной среды: antlerite, hectorite, onentite, pentahydrate-Cu, plutogjarosite, starkeyite, szmikite, szmolnokite, woodruffite и Al, Mg, Cu, Zn силикаты. Большинство из них развивалось в различные периоды двух окислений рудных тел. В первом, когда окисление произошло глубоко в термальном водоносном горизонте до и/или в течение первой стадии отложения гигантских гипсовых кристаллов, большое количество материала было отложено, но из-за недостаточной изменчивости окружающей среды только несколько минералов сформировалось. Этот процесс явно управлялся микроорганизмами, как свидетельствуют широко распространенные биогенные структуры, сохранившиеся в них, и давал начало отложению следующих 9 минералов: кальцит, коронадит, целестин, доломит, флюорит, гетит, гекторит, опал и кварц. Образование гекторита  $[Na_{0.3}(Mg, Li)_3Si_4O_{10}(F, OH)]$  в пещерах наблюдалось впервые и было связано с уменьшением pH как следствием окисления рудных тел, что понижало растворимость кремния, усиливая осаждение опала и кварца, и увеличивало концентрацию Mg в питающих водах.

Вторая стадия окисления началась около 20 лет назад, когда осушение шахты позволило аэрировать условия внутри пещер. В этом случае процесс был полностью абиотическим, что доказано полным отсутствием каких-либо биогенных форм. Это вызвало отложение небольшого количества материала, но с чрезвычайно высокой минералогической изменчивостью из-за высокого числа активных минерогенетических механизмов.

В завершение стоит упомянуть небольшие «псевдосталагмиты» из пещеры Мечей. Исследования полированного среза этих спелеотем свидетельствовали о присутствии внутреннего ядра из призматического гипсового эвгидрального кристалла, поверх которого выросли два слоя белого игольчатого арагонита, чередующихся с

двумя слоями гипсовых макрокристаллов. Затем спелеотемы были покрыты тонким слоем (1–2 мм) орехово-коричневого кальцита и, наконец, плохо сцементированными илисто-глинистыми отложениями.

При низком уровне грунтовых вод доступ воздуха в верхнюю часть пещеры из-за диффузии  $\text{CO}_2$  в термальные воды вызвал развитие арагонита. Последующий подъем уровня грунтовых вод восстановил условия насыщения, что вызвало накопление гипса. Пленка коричневого кальцита соответствует значительному понижению уровня термальных вод ниже пола пещеры Мечей, которое началось из-за умеренного притока пресной воды, вызвавшей осаждение кальцита вместо арагонита. Этот период был неожиданно прерван шахтной активностью, которая существенно изменила гидрогеологию целой области, а также перехватывала просачивающиеся пресные воды, питающие пещеру, что вызвало отложение в полости ила и глины. При анализе толщины различных слоев «псевдосталагмитов» оказалось, что вся последовательность наблюдаемых событий (от отложения гипсовых кристаллов до илистых отложений) заняла всего несколько тысяч лет.

Чтобы подтвердить эту гипотезу, для датировки были взяты два образца из «псевдосталагмита»: первый – из внутреннего ядра гипсового макрокристалла и второй – из верхнего арагонитового слоя. Полученные возрасты составили соответственно  $60 \pm 0,7$  и  $15 \pm 2$  тыс. лет. Возраст внутреннего гипсового ядра должен соответствовать началу нового шага отложения гипса после долгого коррозионного периода, который вызвал частичное и/или полное разрушение большинства крупных гипсовых кристаллов, ранее развитых в этой пещере. Датировка первого слоя арагонита, соответствующего первому колебанию уровня грунтовых вод, дала возраст, который находится в хорошем согласии с предполагаемым и полученным возрастом при исследовании морфометрии 5 нарастающих слоев. Радиометрические определения возраста всех слоев «псевдосталагмита» позволят сделать детальную реконструкцию колебания уровня термальных вод за последние 15 тыс. лет.

#### **Стадии в развитии пещеры**

До недавнего времени исследования были сосредоточены на механизмах, учитывающих развитие гигантских кристаллов, а происхождением и эволюцией пещер Найка полностью пренебрегали.

Термальные флюиды, ответственные за развитие рудных тел Найка, начиная с 25 тыс. лет назад проникали снизу через основные разломы. Поэтому проницаемость вмещающих карбонатных пород была незначительной, и никакие карстовые пустоты не развивались. Совсем недавно (1–2 тыс. лет назад) тектонические движения частично переместили рудные тела, возникли открытые трещины и разломы, близко связанные с тремя главными сбросами (Найка, Гибралтар и Монтана), которые ранее контролировали подъем термальных флюидов.

Когда температура термальных вод оказалась ниже 100–120 °С, они стали агрессивными относительно карбонатов, таким образом, небольшие полости стали развиваться на различных уровнях внутри водоносного слоя. Эта первая стадия глубинного развития карста была общей для всех пещер Найка, но она была непродолжительной, и коррозионные процессы были не очень эффективными. Известные пещеры имеют небольшие размеры и представляют собой слегка расширенные трещины: Королевы и Мечей, или плоскости напластования: пещера Паруса. Немногочисленные коррозионные черты (главным образом колоколообразные купола на сводах полостей) не позволили провести детальную реконструкцию истории развития пещер, которая была в свою очередь достигнута мультидисциплинарным анализом отложений из этих пещер.

Эволюция полостей включала несколько сложных шагов, связанных с разными спелеогенетическими механизмами (коррозия, двойной обмен, кислотная агрессия,  $\text{CO}_2$ , диффузия, конденсационная коррозия и т.д.). Даже если ими всегда управляло присутствие термальных вод, результирующая эволюция так или иначе отличалась от пещеры к пещере, будучи связанной с глубокими фреатическими, эпифреатическими и вадозными условиями.



С этой точки зрения, самая интересная пещера – пещера Мечей, где действовали все три условия, в то время как в более глубоких пещерах (Кристаллов, Королевы и Паруса) происходили только внезапные изменения от – глубинных фреатических до вадозных условий, когда произошло осушение шахты около 20 лет назад. Небольшая пещера +50 – единственная, в которой никогда не происходило отложение фреатического гипса, потому что термальные воды оставили ее еще до охлаждения, достигающего температуры равновесия гипс–ангидрит. Отложение гипса закончилось 20 лет назад, когда эксплуатация шахты вызвала полное осушение пещер; так или иначе этот факт не представлял конец развития пещеры, которое характеризовалось последней стадией, активной во всех пещерах. Конус депрессии уровня воды оказал существенное влияние на развитие пещеры, давая начало формированию нескольких новых диагенетических минералов, но и также существенно увеличив процессы конденсационной коррозии и растворения, которые через несколько лет будут ответственные не только за повреждения гигантских гипсовых кристаллов, но также и за их полное разрушение.

Продолжаются и другие исследования в пещерах: изучение направлений роста кристаллов и жидких включений в них, в том числе поиск следов ДНК [2, 5]. Стал удивительным результат исследований, который показал, что внешняя жизнь достигла пещеры Кристаллов: в кристаллах гипса были найдены зерна пылицы, связанные с растительностью широколиственных влажных лесов, отличные от ныне существующей обстановки пустыни на поверхности. Пыльца, которая пережила километры подземного путешествия в экстремальных условиях, закончила свой путь в гипсовых кристаллах.

### **Исчезновение пещеры Кристаллов**

Найка – место контрастов. В глубинах горы есть фантастическое минеральное богатство, извлекаемое жителями поселка, которые живут очень бедно.

Самая фантастическая и хрупкая пещера, когда-либо известная на планете, была обнаружена благодаря внушительной шахтной деятельности, целью которой является извлечение полезных ископаемых из недр Земли.

Спасение пещеры зависит от действий тех, кто извлекает минералы из недр. Сейчас человек использует эту замечательную пещеру, путешествует и проводит наблюдения в ней, только потому, что огромное количество дорогостоящей энергии поддерживает ее вне естественного состояния. В таких условиях человек умер бы в течение нескольких долей секунды.

В настоящее время глубины гор и пещеры Найка свободны от воды благодаря ее постоянной откачке к поверхности на 700 м выше. Энергетическая потребность шахты около 100 млн. кВтч/год, она оплачивается добычей миллионов тонн минералов ежегодно. Найка – одна из самых крупных шахт в мире (здесь добывают ежегодно около 170 т серебра и десятки тысяч тонн цинка и свинца).

Существует идея, что откачка воды может быть продолжена с меньшей глубины, только для того, чтобы иметь доступ к пещере Кристаллов, но эта идея полностью нереалистична, поскольку затраты на это будут огромными. Исследования показали, что пещера находится в совершенно неестественном состоянии. Если бы пещера Кристаллов была живым существом, то про нее можно было бы сказать, что она находится в своего рода коме. Состояние ее ухудшается? Да, абсолютно точно. Но по сравнению с каким ее состоянием? Много кристаллов было повреждено, поверхность других станет непрозрачной, но это сохранится только как воспоминание кристаллов о том времени, когда они стали известны человеку. Точно так же, как это случается в любой момент времени без шума во многих более скромных пещерах всего мира, будь то туристические объекты или просто объекты спелеологических посещений. Ближайшая цель состоит в том, чтобы вызвать наименьшие возможные повреждения в пещере и, если возможно, привести ее к новому состоянию равновесия, которое сохранит ее лучше. Весь комплекс пещер Найка рано или поздно неизбежно возвратится под воду, потому что в долгосрочной перспективе не будет возможности продолжать откачивать воду из глубин горы.

Судьба пещер Найка в будущем неизвестна. Возможно, все кристаллы будут полностью вынуты из недр Земли, чтобы восстановить весь комплекс потом снаружи. А в пещере останется пустое пространство, которое, может быть, через миллион лет будет вновь заполнено гипсовыми кристаллами. Или эти 160 мегакристаллов будут извлечены из пещеры и рассеются между музеями и богатыми коллекционерами. Может кристаллам будет позволено возвратиться неповрежденными под воду, и люди будут удовлетворены сохранением детальной памяти об их находке. Этого сейчас никто не знает, но с проблемой выбора судьбы пещер неизбежно придется столкнуться в ближайшем будущем. А сейчас пока проводятся исследования, которые помогут решить эту проблему.

Пещера Кристаллов очень красива, но она представляет собой удивительный пример того, насколько велик контраст между неистощимой сложностью природы и нашей ограниченной способностью понять и использовать ее.

### **Список пещер Найка:**

**Пещера Кристаллов (Cueva de las Cristales)** – является безусловно наибольшей полостью с наибольшими кристаллами гипса. Длина (по съемочному плану): главный зал – 109 м, ЮВ ветвь – 42 м, СВ ветвь – 68 м, площадь – 1100 м<sup>2</sup>, объем: 5–6 тыс. м<sup>3</sup>, амплитуда – 12 м. Нанесенные на карту кристаллы: 149, больше чем 90 % общего количества. Наибольший кристалл – Cín, в СВ части главного зала, длина 11,40 м, объем 5,0 м<sup>3</sup>.

**Пещера Мечей (Cueva de las Espadas)** – была обнаружена в начале 1900-х гг., потому что, в отличие от других, она была сформирована на уровне грунтовых вод. Она состоит из длинной расщелины, с очень богатой кристаллизацией в более глубоких частях. За эти годы она была, к сожалению, в большой степени разграблена. «Гигантские кристаллы», которые сделали район Naica известным среди минералогов, происходят из этой пещеры. С научной точки зрения пещера очень интересна, потому что ее кристаллы содержат информацию о древнем климате и геологических процессах региона. Длина полости 105 м, площадь 600 м<sup>2</sup>, объем 1400 м<sup>3</sup>.

**Пещера Паруса (Cueva de las Velas)** – обнаружена несколько лет назад, представляет собой один зал на двух уровнях со стенами, покрытыми довольно маленькими кристаллами. В последние годы она была в значительной степени разграблена. Вероятно, пещера является частью той же самой системы, что и пещера Кристаллов. Длина полости 75 м, площадь 400 м<sup>2</sup>, объем 1500 м<sup>3</sup>.

**Пещера Королевы (Cueva Ojo de la Reina)** – небольшая красивая пещера, которая расположена очень близко к пещере Кристаллов и у которой она является, вероятно, юго-восточным фрагментом. Внутри горных пород к северу, между пещерами Кристаллов и Ojo de la Reina, вероятно, находятся другие подобные полости. Она была разграблена и повреждена, так как была вскрыта штольной. Стены полости покрыты многочисленными кристаллами, которые серьезно повреждены конденсацией в нескольких местах. Длина полости 15 м, площадь 50 м<sup>2</sup>, объем 150 м<sup>3</sup>.

### **Закключение**

Не подлежит сомнению уникальность пещер Найка. Лес гигантских гипсовых кристаллов, самых больших на планете – абсолютно нереальный мир, который находится за пределами воображения. Пещера с температурой около 50 °C и 100 %-ной влажностью, где человек без защиты может выдержать всего несколько минут. Чудо природы, обнаруженное совершенно случайно, хрупкое и таинственное, которое человечество рискует потерять в любое время. И оно скоро станет недоступным снова, скрытым в сердце Земли. Пещера Кристаллов, так же, как и другие пещеры Найка, – это маленькое окно в необозримое геологическое время. Человек теперь может открывать подобные окна благодаря новым исключительным технологиям. В пещере Кристаллов было предпринято рискованное (буквально, астронавтическое) исследование для того, чтобы понять и изучить ее природу, зафиксировать как можно больше данных о ней и попытаться спасти уникальные природные объекты. Спасти прежде, чем станет слишком поздно.

Все пещеры на уровне –290 м в шахте Найка останутся доступными только

в течение нескольких лет, и как только добывающая деятельность прекратится, грунтовые воды затопят пещеры, скрыв их под 170 м толщей горячей воды. Это событие, которое ожидается через 5–7 лет. Многообразные научные исследования в пещерах Найка которые недавно начаты, должны успеть закончиться за довольно короткое время, пока существует шахта.

Одна из главных задач проекта Найка состоит в том, чтобы найти лучший способ сохранить для будущих поколений память и, еще лучше, существенную часть этого невероятного подземного мира.

Очень волнует исследователей материальное сохранение кристаллов. Было бы хорошо сохранить хотя бы часть этих пещер, избежав того, что случилось в пещере Мечей в начале прошлого столетия: извлеченные из нее кристаллы гипса оказались рассеянными в различных более или менее важных минералогических коллекциях по всему миру.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.naicagaleria.com>
2. Badino G. Crystal giants in the caves of Naica. La Vents, 2008. 43 p.
3. Badino G. The Cueva de los Cristales micrometeorology: in White W.B., ed., Proceedings 15th International Congress of Speleology, Kerrville, Texas. V. 3. 2009. P. 1407–1412.
4. Badino G., Ferreira A., Forti P., etc. The naica caves survey: in White W.B., ed., Proceedings 15th International Congress of Speleology, Kerrville, Texas, V. 3. 2009. P. 1980–1984.
5. Forti P., Sanna L. The Naica Project – a multidisciplinary study of the largest gypsum crystals of the world. Episodes. 33(1). 2010. P. 23–32.
6. Giovine G., Badino G., De Vivo A., etc. The Naica caves and physiology: in White W.B., ed., Proceedings 15th International Congress of Speleology. Kerrville, Texas. V. 3. 2009, P. 1980–1984.
8. Hill C.A., Forti P. Cave minerals of the World. Huntsville: National Speleological Society, 1997. 464 p.
9. Masterson J.M., Richardson F.A. Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Downsview, Ontario: Environment Canada. 1979, 45 p.

## ОТЛОЖЕНИЯ ПЕЩЕР

### DEPOSITS OF CAVES

С.Е. Мазина, А.А. Семиколенных

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

### РАЗЛИЧНЫЕ ФОРМЫ ЛУННОГО МОЛОКА ПЕЩЕР РОССИИ В СВЕТЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕЗИСА

S.E. Mazina, A.A. Semikolennykh

*Moscow State University of M.V. Lomonosov*

### THE GENESIS PROBLEM OF DIFFERENT FORMS OF MOONMILK FROM RUSSIAN CAVES

#### Summary

A moonmilk as specific form of secondary cave deposits has a characteristic ability of a solid material to become liquid even under negligible a pressure or other modifications of the factors interfering in equilibrium. Thus for today researchers combine under this name an extensive group of secondary cave deposits of different composition and genesis.

#### Введение

К настоящему моменту лунное молоко описано почти во всех регионах мира. Оно встречалось и высоко в горах в альпийских пещерах с большим количеством льда, и в тропическом климате, где постоянная температура около 25 °С.

Как правило, лунным молоком называют белую гомогенную желеобразную массу, скапливающуюся в виде пленок или потоков на стенах и полу пещер. Одним из характерных свойств этой массы является тиксотропия, т.е. способность обратимо разжижаться при наложении нагрузки. В.Н. Дублянский назвал такую структуру «кристопластичной» [3].

Первое упоминание о лунном молоке датируется 1546 г.[8], а уже в 1555 г. появляется первая гипотеза о его происхождении. Автор гипотезы Геснер [14] полагал, что имеет дело с разновидностью грибного мицелия, который растет исключительно на поверхности известняков. Геснер впервые предложил устоявшийся термин – «лунное молоко».

Чаще всего лунное молоко обнаруживается на известняках и содержит в своем составе преимущественно карбонатные минералы [12; 22; 26; 16; 18]. Однако описаны случаи, когда основной состав лунного молока был представлен гипсом [22] или аллофанами [28; 19]. Наблюдения при помощи электронного микроскопа показали, что, как правило, лунное молоко состоит из мелких примерно одинакового размера кристаллов округлой, пластинчатой или нитчатой форм. Детальные исследования структуры образцов лунного молока сделаны рядом авторов [15; 26].

К настоящему времени наиболее полный обзор гипотез происхождения лунного молока содержится во втором издании энциклопедии пещерной минералогии – «Cave minerals of the world» [18]. Основные гипотезы генезиса лунного молока следующие:

1. Генерация лунного молока связана с намерзанием ледяных пленок на поверхности известняка. Лед, имеющий высокую концентрацию углекислого газа, вследствие быстрого таяния ледяных пленок способствует увеличению растворимости карбонатной породы. Такая гипотеза подходит для пещер, расположенных на севере и высоко в горах, но она не объясняет, почему лунное молоко гораздо чаще встречается в теплых тропических пещерах [18].

2. Лунное молоко – продукт деятельности микроорганизмов. Остаются актуальными работы, доказывающие, что многие бактерии и грибы способны осаждать мелкие кристаллы кальцита как побочный продукт своей активности [11; 16]. В начале 1990-х г. высказывались гипотезы о существовании особых наноформ

бактерий, специфически накапливающих карбонаты в процессе жизнедеятельности (нанобактерии Фолька; Folk, 1994). Впоследствии большинство микробиологов не признали убедительными доказательства существования этих бактерий. Возражением против микробиологической гипотезы является то, что хотя большие количества микроорганизмов иногда обнаруживаются в лунном молоке, но в других случаях они могут полностью отсутствовать [7].

3. Лунное молоко – остаточный продукт растворения и дезинтеграции коренной породы [18] под действием различных факторов: воды, дыхания микроорганизмов и т.п. Эта теория наиболее распространена [10; 17], хотя исследователи не всегда могут объяснить, почему в ряде случаев отсутствует сходство химического состава коренной породы и лунного молока [18].

4. Лунное молоко – высокодисперсный осадок, образующийся при быстром переохлаждении насыщенного раствора [18].

Классификация лунного молока по существующим в минералогии схемам всегда вызывала трудности. До сих пор удовлетворительной типизации этого феномена не существует. Наиболее популярны две точка зрения. *Первая* состоит в том, что под лунным молоком нужно понимать только его карбонатную разновидность, и классифицировать так же, как другие карбонатные минералы. *Вторая* – что классификация должна быть построена на основании общих для всех типов лунного молока физических свойств (тиксотропия). Тогда под лунным молоком следует понимать самые разнообразные объекты, которые могут иметь различный состав.

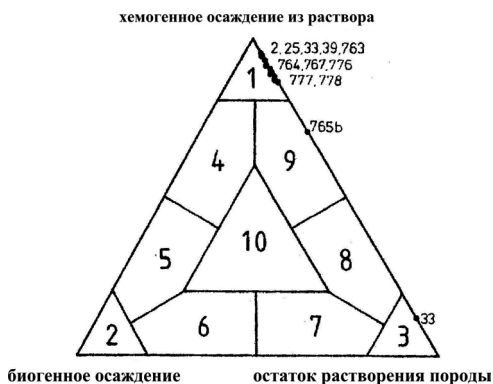


Рис. 1. Диаграмма для классификации генезиса лунного молока [15]. Точками и цифрами показано расположение в классификационной схеме образцов, исследованных авторами

В большинстве случаев логично предполагать, что алюмосиликатная, карбонатная, фосфатная и гипсовая формы имеют различный генезис. Также внутри разновидностей лунного молока, вероятно, существуют образования различного или смешанного генезиса.

Достаточно удачный подход применен в работе Грегори с соавторами [15], где предлагается использовать классификационную треугольную модель, где три стороны-вектора отражают преимущественный тип генезиса лунного молока (рис. 1).

На этой модели они располагают в виде точек изученные ими разновидности образцов, которые могут относиться к конкретному типу генезиса или иметь смешанное происхождение.

В качестве примера сложности трактовки генезиса и состава лунного молока ниже рассмотрены некоторые изученные нами образцы лунного молока из пещер России. Образцы имеют различный состав и генезис: силикатная форма из Никитских катакомб (Московская область), гипсовая форма из пещер бассейна реки Северная Двина (Архангельская область) и карбонатные формы из пещер Большая Орешная (Сибирь, Красноярский край) и Геологов-2 (Пермский край).

## Методы анализа

Для сканирующей электронной микроскопии образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, затем помещали в ацетон для удаления остаточной влаги и высушивали на воздухе, после чего напыляли тонким слоем углерода и рассматривали в микроскопе.

Содержание воды в образце определяли массовым методом путем высушивания в течение 5 ч. при температуре 105 °С, пересчет проводили на массу сухого вещества.

Химический состав образцов из Никитских катакомб анализировали методами рентгенфлуоресценции. Образцы из Архгельской области и Красноярского края анализировали методами «мокрой химии» – [23]. Содержание карбонатов определяли газометрически по выделению углекислоты при реакции с 10 % HCl. Также в ряде случаев использовали дитионит-цитратную (вытяжка Джексона) и кислую оксалатную вытяжки (вытяжка Тамма) [23]. Содержание органического вещества определяли по окисляемости в реакции с хромпиком (гумус по Тюрину) [1].

Минералогический состав определяли методом рентгеновской дифрактометрии в неориентированных образцах с графитовым монохроматором. Дифракционные спектры основных минералов идентифицировали с использованием определителя Михеева [4].

Кинетику вязкости образцов определяли реологическим методом при помощи вискозиметра ИПГ-1М.

Микробиологические анализы включали люминесцентную микроскопию с окрашиванием препарата акридином оранжевым, а также посев разведений суспензий образцов на глюкозо-пептон-дрожжевой агар [5]. Организмы определяли по культуральным и морфологическим признакам.

**Силикатная форма лунного молока из Никитских катакомб.** Никитская каменоломня находится в Домодедовском районе Московской области, вход в нее расположен на правом берегу р. Рожайки, здесь в конце XIX – начале XX в. добывался бутовый камень. Каменоломни залегают в известняках мячковского горизонта среднего карбона. Они представляют собой сильно переработанную обвалами сетку подземных выработок.

В Никитской каменоломне лунное молоко было обнаружено в окрестностях зала Колоколенка в виде белых тиксотропных отложений двух типов:

- 1) тонкие покровные отложения на известняке толщиной не более 2 мм;
- 2) отложения в остаточной глине, заполняющей трещины в известняке, где лунное молоко образовывало прослойки толщиной от 1 до 10 мм (рис. 2).

Визуальное рассмотрение границы между остаточной глиной и лунным молоком показало, что граница имеет четкий переход по цвету и текстуре от однородной до мелкозернистой. Однако при разминании пальцами лунного молока и остаточной глины было замечено, что тиксотропные свойства изменяются постепенно, т.е. частичное разжижение остаточной глины наблюдается и на некотором удалении от лунного молока.



Рис. 2. Природное залегание лунного молока в Никитских катакомбах (Московская область)



Рис. 3. Флюоресценция лунного молока из Никитских катакомб



Это наблюдение позволило предположить, что остаточная глина может являться субстратом для образования лунного молока. Была обнаружена также сильная флюоресценция исследуемого вещества. После воздействия фото лампы-вспышкой в темноте было заметно, что остаточное свечение лунного молока сохраняется в течение 5 сек., в то время как порода и глина почти не светятся (рис. 3).

В электронном микроскопе внутренняя структура лунного молока не выявляется. На рис. 4 видно, что куски породы «облеплены» с разных сторон гомогенной массой без видимого внутреннего строения. Применение рентгеновского микроанализатора показало, что гомогенная масса содержит кремний и алюминий в соотношении 2/1.

Влажность образца лунного молока составляет 185 %, а образца остаточной глины – 80 %. Сравнительные данные о химическом составе глины и лунного молока приведены в табл. 1 и 2.

Рентген-дифракционный анализ показал, что в образце лунного молока, как и в образце остаточной глины, четко диагностируется доломит по характерным пикам в области углов 2,88, 2,19 и 1,785. В образце остаточной глины мы предполагаем нахождение некоторого количества алюмосиликата ряда палыгорскита, диагностируемого по пикам в области 4,3, 3,25 и 2,55.

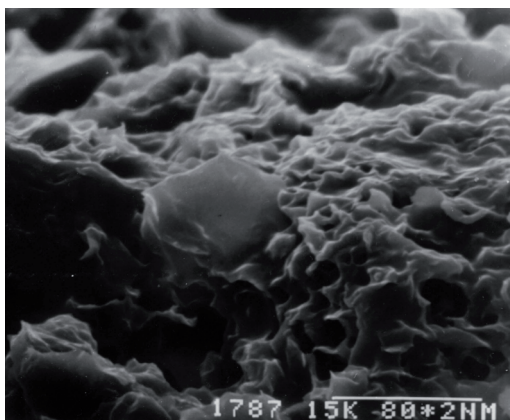


Рис. 4. Микроморфология силикатного лунного молока из Никитских катакомб (Московская область). Сканирующая электронная микроскопия

Таблица 1

Химический состав лунного молока и глины

	pH, H <sub>2</sub> O	pH, KCl	%, CaCO <sub>3</sub>	%, C <sub>org.</sub>	Общий химический состав, % <sub>dm</sub>									Si/Al	
					Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		summa
Глина в окружении лунного молока	8,65	7,35	92,2	0,04	0,5	9,69	12,46	27,81	0,79	44,23	N.D.	0,02	4,02	99,5	3,79
Лунное молоко	8,05	6,95	48,4	0,15	0,5	4,74	24,86	41,42	0,47	25,45	0,03	0,04	1,99	99,5	2,83

Таблица 2

	Кислая оксалатная вытяжка		Дитионит-цитратная вытяжка	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %
Глина	0	0,270	0,05	1,528
Лунное молоко	4,075	0,029	0,46	0,439

Ряд мелких пиков в областях 3,73; 3,33; 2,81; 2,40; 2,02 и 1,81 указывают на наличие и иных минорных компонентов. В образце лунного молока в небольшом количестве также диагностируется кальцит по пикам 3,03; 2,08; 1,91 и 1,87. Кроме того, имеется выраженный пик в области 3,09 и менее выраженный в области 3,33 ангстрем, которые мы не смогли отнести к конкретному минералу.

Таким образом, в лунном молоке уменьшается содержание карбонатов, возрастает валовое содержание кремния и алюминия, при этом алюминий присутствует преимущественно в виде подвижных (растворимых в оксалатной вытяжке) форм. Поскольку, по данным рентгеновской дифракции, значимых количеств минералов алюминия и кремния в лунном молоке не выявлено, можно предполагать, что кремний и алюминий находятся в составе отложения в виде рентгеноаморфных (неокристаллизованных) форм. К таким формам относится, например, аллофан – аморфный гель переменного состава, состоящий из водонасыщенных оксидов алюминия и кремния. Можно заключить, что лунное молоко из Никитских каменоломен относится к силикатному (алюмосиликатному) типу.

Количество микроорганизмов в лунном молоке, по сравнению с остаточной глиной, уменьшается. В глине мы обнаружили микробные клетки в количестве  $0,65 \times 10^9$  клеток/г образца, а в лунном молоке – только  $0,4 \times 10^6$  микробных клеток. Посев на питательные среды показал, что выделяется стандартный почвенный набор видов – спириллы (*Aquaspirillum* sp.) и артробактры (*Arthrobacter* sp.). Было отмечено большое количество актиномицетов рода *Streptomyces*. В целом эти результаты соответствуют некоторым полученным ранее, например Вильямсом [29] о том, что микроорганизмы в составе лунного молока – представляют собой обычный набор сапротрофных почвенных видов.

Общее направление генезиса данного типа лунного молока, по всей вероятности, основано на геохимии кремния в условиях подземной среды. Кремний более подвижен в щелочной среде и поэтому частично может переходить в раствор во внутренних зонах карбонатной породы, где pH находится примерно на уровне 7,5–9,0. Растворы постепенно мигрируют по капиллярам и микротрещинам к границе породы с атмосферой, где за счет больших масс воздуха, содержащего углекислоту, pH растворов изменяется, и в более кислой среде кремний выпадает из раствора в осадок или происходит агрегация коллоидов. Возможно, более существенная роль принадлежит микроорганизмам, обитающим в остаточной глине, которые создают зоны уменьшения pH (например, за счет увеличения парциального давления углекислоты). По-видимому, имеет значение и продукция микроорганизмами разнообразных органических кислот. Слабые органические кислоты сильно повышают степень выветривания силикатных минералов, содержащихся в известняке и глине. Так, палыгорскит, обнаруженный нами в глине, окружающей лунное молоко, весьма подвержен распаду в кислой среде, и, вероятно, именно линзы палыгорскита в межпластовом пространстве обуславливают существенное количество кремния и алюминия в почвенном растворе. Органические кислоты при этом наиболее агрессивны, так как резко повышают способность к образованию кремнием и алюминием органо-минеральных комплексных соединений.

О присутствии органических комплексов косвенно свидетельствует сильная флюоресценция лунного молока, а также некоторое увеличение в лунном молоке содержания органического углерода (табл. 1).

**Гипсовая форма лунного молока из пещер Архангельской области.** Гипсовая форма лунного молока обнаружена в ряде пещер Архангельской области: в пещерах Двинская и Победа (среднее течение р. Северная Двина), пещерах района Березник

(Пинежский район) и небольших пещерах вдоль р. Сотка (Пинежский район). Пещеры заложены в нижнепермских гипсах сакмарского яруса соткинской и кулогорской свит ( $P_{1\text{ sot}}$  и  $P_{1\text{ kl}}$ ) и прорабатываются по зонам трещиноватости преимущественно вдоль бортовых отпоров карстовых логов и эрозионных долин.

Лунное молоко встречается в виде неравномерного слоя толщиной до 5 мм в замкнутых куполах на потолке пещер, а также по краям зон проточного увлажнения на полу пещеры в виде отложений мощностью до 1,5–2 см. Цвет грязно-белый с желтоватыми разводами.

Тиксотропность выражена в меньшей степени, чем у силикатной формы. На наклонной плоскости лунное молоко проявляет медленную текучесть.

Содержание влаги в образце лунного молока – 21,5 %. Химический состав лунного молока – практически чистый (примеси менее 2 %) сульфат кальция, что соответствует химическому составу коренной породы, в которой заложены пещеры.

Дифракционные спектры минералогического состава коренной породы и лунного молока практически идентичны. На рентгенограммах уверенно диагностируется чистый гипс по характерным пикам в области углов 3,07; 3,8; 4,31; 7,66.

Микроморфологические наблюдения при помощи сканирующего электронного микроскопа (рис. 5) показали, что основная масса лунного молока представлена окатанными кристаллами слабо выраженной ромбовидной формы и приблизительно одинакового размера от 3 до 10 мкм.

Микроорганизмы фактически отсутствуют в образцах. Прямыми наблюдениями удалось выявить не более чем  $10^2$ – $10^3$  бактериальных клеток на грамм свежего образца. Морфологически бактериальные клетки представлены подвижными жгутиковыми формами и спириллами. Мицелиальных форм выявить не удалось.

Лунное молоко из пещер Архангельской области – насыщенная водой суспензия гипсовых кристаллов. Однако генезис гипсовой разновидности лунного молока вызывает ряд вопросов. «Оплывшие» края у элементарных зерен позволяют предположить, что гипсовое лунное молоко – продукт растворения коренной породы, т.е. растворение породы происходит равномерно до определенной стадии, когда окружающий раствор становится насыщенным по сульфатным анионам. В такой ситуации значение приобретает конкуренция зерен различного размера с различной поверхностью и, следовательно, имеющих разные вероятности преимущественного растворения. Другими словами, в первую очередь растворению подвержены все агрегаты и зерна с нетипичной морфологией, а наиболее устойчивыми оказываются элементарные ромбовидные кристаллы гипса приблизительно одинакового размера, слагающие коренную породу. Растворение стабилизируется при достижении остаточными зернами определенного соотношения массы и площади поверхности в условиях окружающего раствора, близкого к насыщению (2,8 г/л по сульфату). В этом случае мелкие гипсовые кристаллы становятся способными к образованию водородных связей между структурными элементами системы. Модель этого процесса представлена на рис. 6.

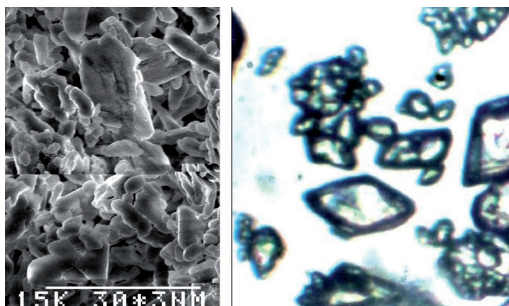


Рис. 5. Микроморфология гипсового лунного молока. Пещера Двинская (Архангельская область). Слева: сканирующая электронная микроскопия. Справа: суспензия образца в оптическом микроскопе

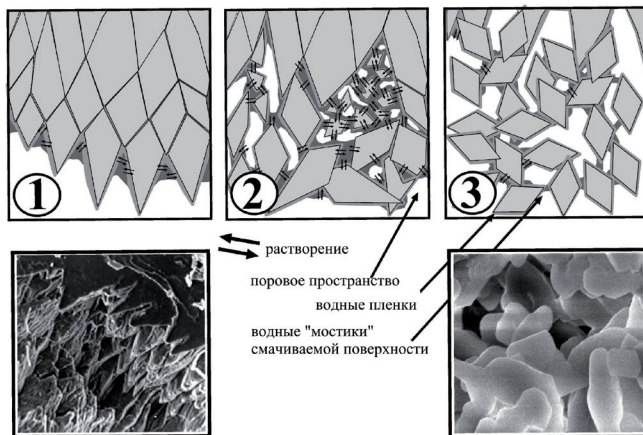


Рис. 6. Модель растворения плотного гипса, состоящего из ромбоидов гипса одинакового размера, приводящего к образованию суспензии кристаллов одинакового размера с тиксотропными свойствами. 1 – исходная порода, 2 – процесс дезинтеграции и растворения породы, 3 – отбор кристаллов по размеру

Однако не следует исключать и иную гипотезу формирования тиксотропных суспензий гипса, связанную с наличием льда в подземном пространстве северных пещер. При замерзании гравитационных карстовых вод, содержащих различные концентрации сульфатов, в зимний период начинается процесс сублимации подземного льда. Лед испаряется, а избыточные сульфаты выпадают на поверхности льда в виде «гипсовой муки». Эта «мука» изначально имеет одинаковые размеры кристаллов и при определенных условиях (медленное гигроскопическое насыщение плюс минимальная конденсация тумана в атмосфере пещеры) может служить прекрасным субстратом для образования структуры гипсового лунного молока. Разумеется, в этом случае генезис лунного молока должен трактоваться с точки зрения «хемогенного осадка», а не продукта растворения исходной породы.

Аналогичные дискуссии ведутся в почвоведении относительно формирования почв на плотных гипсах во влажном бореальном климате, где формируются мощные стабильные во времени слои гипсовой муки, вместо ожидаемого быстрого растворения подповерхностного почвообразующего слоя атмосферными водами [27].

**Карбонатная форма лунного молока из пещеры Большая Орешная.** В пещере Большая Орешная изучена наиболее масштабная залежь лунного молока из всех описанных выше. Пещера Большая Орешная – крупнейшая пещера России в конгломератах нижнего ордовика нарвской свиты, является крупнейшей известной конгломератовой пещерой мира. Общая длина ходов составляет около 47 км (2001), пещера имеет лабиринтовое строение.

Лунное молоко залегает преимущественно на потолке и стенах пещеры в виде слоя мощностью от 3 до 25 мм (рис. 7). Несколько большее количество лунного молока замечено в привходовой части пещеры. Лунное молоко имеет устойчивую структуру, выраженные тиксотропные свойства, в нижних частях стен наблюдаются потоки лунного молока, возникшие, вероятно, при наступлении условий переувлажнения.

Образец интенсивно вскипал и полностью растворялся в 5 %-ной соляной кислоте. Содержание влаги в образце было 100 %.

По данным рентгендифракционного анализа, максимальное отражение интенсивностью 10 наблюдается в области 3,03, что позволяет трактовать образец как кальцит. Ряд вторичных пиков в областях 2,28; 2,4 и др. также могут быть отнесены к кальциту. Характерной чертой образца является широкая «горка» в области углов от 9,64 до 4,77 с максимумом в области 7,03. Этот эффект можно интерпретировать





Рис. 7. Лунное молоко в п. Большая Орешная

как возможную перекристаллизацию колломорфного кальцита в иные, более рентген контрастные кристаллические формы.

Микроморфологические исследования в сканирующем электронном микроскопе показали, что лунное молоко представлено несколькими типами кристаллов различного размера, большая часть из которых представлена фибриллами различной длины (в среднем около 5–10 мкм), но одинакового диаметра (около 0,1 мкм), покрывающими неоднородные поверхности субстрата (рис. 8).

Весьма вероятно, что для объяснения генезиса данной разновидности лунного молока можно привлечь конденсационные процессы. Покровный характер лунного молока позволяет предположить, что сезонный цикл влажности воздуха в пещере «увлажнение–просыхание», в свою очередь связанный с сезонными ветрами, приводит к растворению поверхности коренной породы с немедленной рекристаллизацией карбоната в иную кристаллическую форму.

**Карбонатная форма лунного молока из пещеры Геологов-2.** Пещера Геологов-2 расположена в Губахинском районе Пермского края в 3 км от пос. Юбилейный [2]. Пещера заложена в светло-серых массивных известняках визейского и серпуховского ярусов, протяженность полости 3400 м, глубина около 130 м. Пещера открыта в сентябре 1975 г. В. Сапожниковым.

Пещера трехъярусная, состоит из наклонных галерей и гротов различного происхождения, развитие пещеры происходило по трещинам напластования и тектоническим трещинам. Верхний и нижний ярусы пещеры обводнены, а средний сухой. В привходовой части и гроте Белого Спелеолога отмечены отложения лунного молока мощностью от нескольких сантиметров до 1 м.

Влажность лунного молока составляла 90 %, содержание органического вещества – до 4 % от сухой массы вещества. Образец интенсивно вскипал и почти полностью растворялся в 5 %-ной соляной кислоте. При изучении под электронным микроскопом отмечено наличие четырех типов кристаллов – удлиненных кристаллов, кристаллов неправильной формы, тонких нитевидных кристаллов и пластинчатых кристаллов (рис. 9). Удлиненные кристаллы образовывали рыхлую пространственную сеть и имели широкую функцию распределения размеров по ширине (от 0,3 до 2 мкм), что свидетельствует о длительной эволюции этой сети при ее образовании. Другой тип представлял собой тела неправильной формы, состоящие из известняковых конгломератов. Нитевидные образования (шириной до 0,1 мкм) обычно располагались вокруг конгломератов известняка.

Гибкие нити имели сегментное строение и были неоднородны по размерам. Пластинчатые кристаллы имели неравновесный габитус, их морфология свидетельствовала о медленном послойном росте. Нужно отметить, что обе формы лунного молока карбонатного типа имели сходное кристаллическое строение. Исходя

из морфологии кристаллов, можно предположить, что их образование происходило из пересыщенных растворов, например из капиллярных растворов известняковой породы. Формирование тонких нитевидных структур, возможно, связано с активным транспортом из крупных кристаллов и процессами биокристаллизации. Скорее всего, в основе генезиса карбонатной формы лунного молока лежит несколько механизмов.

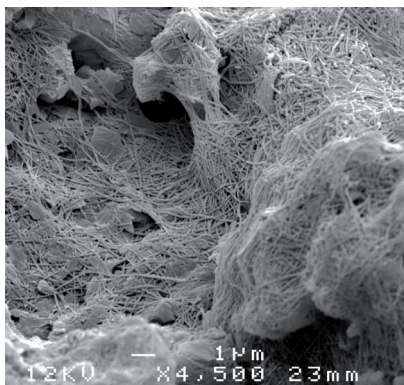


Рис. 8. Микроморфология карбонатного лунного молока. Пещера Большая Орешная (Красноярский край). Сканирующая электронная микроскопия

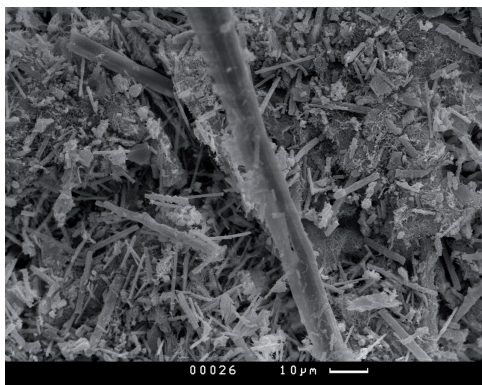


Рис. 9. Микроморфология карбонатного лунного молока. Пещера Геологов-2 (Пермский край). Сканирующая электронная микроскопия

### Обсуждение

Авторы являются сторонниками теории, что различные виды лунного молока должны быть типизированы на основании общего физического свойства – микротиксотропии – вне зависимости от состава, условий нахождения и генезиса лунного молока.

Лунное молоко относится к пластическим твердым телам, а не к вязким жидкостям, для которых характерно обратимое уменьшение вязкости («разжижение») во времени в зависимости от внешнего напряжения (сдвига). Такие системы также называются «связанно-дисперсными». Структура этих систем обусловлена взаимодействием между частицами через прослойки дисперсионной среды за счет Ван-дер-Ваальсовых сил сцепления. Толщина прослойки дисперсионной среды соответствует минимуму свободной энергии системы. Основой предпосылкой стабильности системы является способность молекул приповерхностного слоя растворяться в дисперсионной среде без утраты сцепления между частицами системы.

Зависимость текучести от напряжения сдвига в связанно-дисперсных системах типа описывается уравнением Шведова – Бингама. В состоянии покоя происходит образование определенной структуры, что приводит не только к повышению вязкости, но и к появлению предела текучести. Под действием напряжения сдвига происходит постепенное разрушение структуры и снижение вязкости. Предельные значения вязкости характерны при этом для начального момента времени воздействия. По мере разрушения структуры под воздействием напряжения сдвига через некоторое время материал приобретает вязкость, не зависящую от времени (разжижается). После остановки течения в объеме неподвижного тиксотропного материала опять формируется пространственная структура и возрастает вязкость вплоть до появления предела текучести.

Были проанализированы реологические свойства образцов лунного молока из пещеры Большая Орешная и Геологов-2. Реологическая кривая для пещеры Большая Орешная показана на рис. 10 и представляет классическую реализацию уравнения Шведова – Бингама для связанно-дисперсных систем. Образец лунного молока



характеризуется значением вязкости на бингамовском участке течения  $\gamma_B = 0,0095 \text{ Н*с/м}^2$  и значением вязкости на шведовском участке течения  $\gamma_{sch} = 0,0362 \text{ Н*с/м}^2$ .

П.А. Ребиндер [6] выделяет три вида связи дисперсионной среды и частиц: химическую (ионную, молекулярную), физико-химическую (адсорбционная и осмотрическая влага гидратных оболочек), физико-механическую (капиллярная вода и влага смачивания). Тип связи определяется как химическим составом частиц (определяющим растворимость и поверхностную энергию), так и малым размером частиц при значительной поверхности раздела фаз. При этом химический тип связи определяется исключительно химическим составом, а физико-химический и физико-механический типы связи – определяется размером и ориентацией частиц.

Наблюдаемые формы лунного молока, вероятно, имеют связи разных типов. Образец алумосиликатного геля из Никитских каменоломен – химическую связь, образцы карбонатного лунного молока из Большой Орешной и из пещеры Геологов-2, а также лунное молоко из Архангельской области – физико-химическую связь.

При обезвоживании лунного молока прочность структуры повышается, однако после определенного предела потери влаги структуры перестают быть тиксотропными, т.е. теряют способность сопротивляться пластическим деформациям.

**Медицинские свойства лунного молока.** Упоминания о медицинских свойствах лунного молока встречались в древних трактатах. Известно, что лунное молоко применялось для заживления переломов, прикладывалось к язвам, а также принималось внутрь при диарее и дизентерии [25]. В ветеринарии его давали коровам со сниженной лактацией [25].

Можно предположить, что возможность наличия медицинских свойств у лунного молока объясняется следующим образом. По крайней мере, алумосиликатная и карбонатная разности лунного молока – великолепные абсорбционные системы и, следовательно, могут поглощать вещества из окружающей среды (глины и пещерной атмосферы). Лунное молоко вбирает в себя все вещества, не сортируя на вредные и полезные для человека примеси. Так, в нашем случае в глине из Никитской каменоломни обнаружены стрептомицеты (*Streptomyces*), известные как продуценты антибиотика – стрептомицина, поэтому нельзя исключить, что в лунном молоке повышена концентрация этого антибиотика. А вот если бы лунное молоко сформировалось рядом с прослойкой, например, киновари, то оно набрало бы в себя все возможные формы ртути и представляло бы концентрат яда с очень сомнительной пользой для здоровья человека. Таким образом, к использованию лунного молока для лечебных практик нужно подходить весьма осторожно, тщательно учитывая конкретные условия его нахождения.

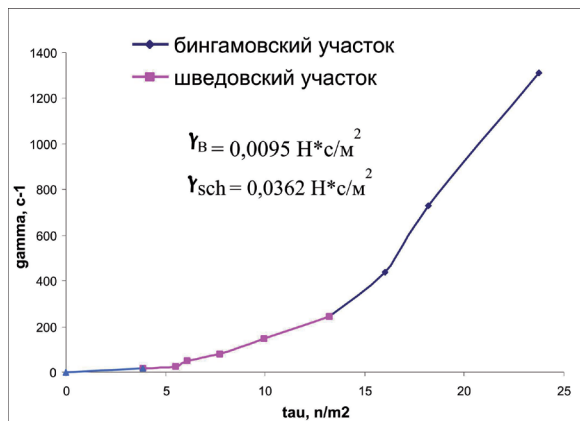


Рис. 10. Реологическая кривая для пещеры Большая Орешная

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1970. 486 с.
2. Валуцкий С. В., Родионов В. В., Мичков Н. Л. Пещера Геологов-2 // Пещеры. Методика изучения: межвуз. сб. науч. тр. / Перм. ун-т. Пермь, 1986. С.110–111, 113.
3. Дублянский В.Н., Ломаев А.К. Карстовые пещеры Украины. Киев: Наукова Думка. 1980. 179 с.
4. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / ред. Д.Г. Звягинцев. М.: Изд-во МГУ. 1991.
6. Ребиндер П. А. Конспект общего курса коллоидной химии. Изд. 2-е. М.: Изд-во МГУ, 1950. 112 с.
7. Шуменко С.И., Олимпиев И.В. Каменное молоко из пещер Крыма и Абхазии // Литология и минеральные ресурсы. 1977. Т. 12, №12. С. 240–243.
8. Agricola G. De ortu et causis subterraneorum: Basel (Switzerland): Hieronymous Froben & Nikolaus Bischof (Episcopium). 1546. 487 p.
9. Bates, R.L., Jackson J.A. Glossary of geology, Alexandria, VA: American Geological Institute. 1987. 788 p.
10. Broughton P.L. Secondary mineralization in the cavern environment. Stud. Speleol., 2. 1971. P. 191–207.
11. Cooper R. A comment on «type locality of mondmilch» // Cave Science. 1993. Vol. 20, №1.
12. Fischer H. Type locality of monmilch, Cave science. 1992. V.19, №29 P. 59.
13. Folk L.R. SEM imaging of bacteria and nannobacteria in carbonate sediments and rocks // J. Sediment. Petrol. 1993. V.63. P. 990–999.
14. Gesner C. Descriptio Montis Fracti sive Montis Pilati ut vulgo nominant, juxta Lucernaum in Helvetia, Tiguri. 1555.
15. Ghregary L., Onac B.-P., Santamarian A. Mineralogy of moonmilk formation in some Romanian and Norwegion caves: Theor Apple. Karstol. 1994. V.6. P. 107–120.
16. Gradzinski M, Szulk J, Smyk B. Microbial agents of moonmilk calcification. Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, Switzerland. 1997. V.1. P. 275–278.
17. Harmon R. S., Atkinson T. C., Atkinson J. L. The mineralogy of castelguard Cave, Columbia Icefield, Alberta, Canada. Arctic Alpine Res. 1983. P. 503–516.18. Hill, C. A., Forti P. Cave minerals of the world. NSS. Huntsville. 1997. 463 p.
19. Istvan D., Manescu S., Jurca M. Study on Moonmilk from Pestera Mare, Piatra Molosnaia (Rapedea, Maramures Mountains, Romania) // Teor. Appl. Karstology. 1995. V. 8, P. 69–74.
20. Iosof V., Coman D., Lanc R. Note sur la presence de l'allop

**К. Хилл, П. Форти<sup>1</sup>**  
**МИНЕРАЛЫ ПЕЩЕР МИРА**  
**Избранные главы. Сульфаты**  
*Перевод с английского Н.В. Лавровой*

**K. Hill, P. Forti**  
**CAVE MINERALS OF THE WORLD**  
**Selected chapters. Sulfates**  
*Translated by N.V. Lavrova*

**Summary**

Here given the translation of selected chapters from first edition of the book «Cave minerals of the world» published in 1986.

**Сульфатные минералы.** В результате карстовых процессов в пещерах образуется множество сульфатных минералов: гипс, эпсомит, мирабилит, гексагидрит, ангидрит, бассанит, бледит, целестин, кизерит, тенардит. Характерные свойства этих минералов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сульфатные минералы

Название	Формула	Сингония	Физические свойства и диагностические признаки
Ангидрит	$\text{CaSO}_4$	Ромбическая	Белый до коричневого. Коры, кристаллы. Образуется при дегидратации гипса при высоких температурах или путем испарения из соленой воды
Бассанит	$2\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$	Тригональная	Белый до коричневого. Коры. Образуется при дегидратации гипса при высоких температурах Общезвестная парижская известь
Бледит	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Бесцветный. Прозрачный. Блеск от стекловидного до стеклянного. Образует коры
Целестин	$\text{SrSO}_4$	Ромбическая	Цвет светло-голубой, небесно-голубой, синезеленый. Окрашивает пламя в красный цвет. Обычно в виде кор или обрамляет стены пещеры
Эпсомит	$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	Ромбическая	Белый, бесцветный. Прозрачные, волокнистые кристаллы. Сильный горький вкус. Сильно растворим. Дегидратируется до гексагидрита. Обычная горькая соль
Гипс	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Прозрачный до белого. Прозрачный селенит, стекловидный атласный шпат, белый непрозрачный алебастр. Царапается ногтем. Пластинчатый, игольчатый, волокнистый. Образует двойники «ласточкин хвост». Гибкий, изгибается в направлении против часовой стрелки. Медленно растворяется в воде. Один из наиболее распространенных пещерных минералов
Гексагидрит	$\text{MgSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Белый. Коры. Продукт дегидратации эпсомита в сухих условиях при обычной температуре
Кизерит	$\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Белый. Гигроскопичный. Продукт дегидратации эпсомита
Мирабилит	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Стеклоянно-чистый, прозрачный, похожий на лед. Слабый горько-соленый вкус. Игольчатый. Сильно растворим. Легко расплывается при низких температурах. Обычная глауберова соль. Дегидратируется до тенардита
Тенардит	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Ромбическая	Белый до бесцветного; прозрачный, полупрозрачный. Вкус слабосоленый. Устойчив при небольшой влажности. При удалении из условий пещеры мирабилит дегидратируется до тенардита

<sup>1</sup> Hill C., Forti P. Cave minerals of the world. National Speleological Society. Huntsville, 1986. 238 p.

Гипс (после кальцита и арагонита) – третий наиболее распространенный минерал в пещерах. Обычно бесцветный (селенит) или белый (атласный шпат или алебастр), но также может иметь оттенки желтого, рыжего, голубого, розового, коричневого, серого, красновато-коричневого или черного. Встречается гипс в виде пластинчатых, изометричных, игольчатых, изогнутых или призматических кристаллов. Образует длинные волокна, розы, двойники срастания (ласточкин хвост) или двойники прорастания (Casali et al., 1983; Lei and Zhu, 1983)<sup>2</sup>. Чаше всего встречаются пластинчатые, волокнистые разновидности и ласточкин хвост, остальные более редки. Менее, чем гипс, распространены сульфаты магния и натрия – эпсомит и мирабилит соответственно. Соли необычайно растворимы и очень чувствительны к изменениям влажности и/или температуры. Под действием сухого воздуха эпсомит изменяется до низших гидратов – гексагидрита и кизерита, а мирабилит до тенардита. В пещерах описаны две двойные соли натрия: бледит – двойная соль натрия и магния – и безымянная неустойчивая соль натрия и кальция. Последняя никогда не описывалась и поэтому не была признана как минеральный вид (Fleischer, 1983). Все эти сульфатные соли чистые и прозрачные, похожие на лед. Целестин, сульфат стронция, встречен в пещерах в виде кристаллических кор, покрывающих стены. Слегка лазурный или светло-зеленый по цвету, отличается от гипса, с которым обычно ассоциирует. Барит, сульфат бария, идентифицирован с целестином в аутигенных отложениях пещеры Мамонтовой, Кентукки (Davies and Chao, 1959); однако оба минерала в этом случае обломочные, а не вторичные. Вторичный барит встречается в пещерах, но всегда ассоциирует с рудой бария и поэтому описан в главе «Рудные минералы». Имеют отношение к рудам и другие сульфатные минералы: англезит, брошантит, халькантит, халькоалюмит, клайрит, цианотрихит, девиллин, лоункрикит, никельалюмит, сабит, спанголит.

Другие сульфатные минералы по своему происхождению не имеют отношения к рудам или типичным процессам в известняковых пещерах или лавовых трубах. Это алюминит, алунит, алюноген, афгиталит, арканит, базальюминит, галотрихит, ярозит, калинит, леконтит, метавольгин, мизенит, натророзит, пиккерингит, калиевые квасцы, сингенит, тамаругит, тейлорит, чермигит, вольтаит.

**Отложение сульфатов.** Условия отложения сульфатных минералов в пещерах изучены не так хорошо, как у карбонатов. Транспортировка сульфатов в растворе достаточно понятна: сульфатные ионы двигаются от их источника по направлению к сухим пещерным гротам, где испарение способствует осаждению, но другие аспекты процесса отложения более спорны. Какой основной источник ионов сульфата? Какие геохимические процессы вовлечены в осаждение сульфатных минералов? Какие факторы влияют на морфологию сульфатных спелеотем?

Предполагается четыре источника сульфатных ионов.

1. Окисление сульфидов. Окисление сульфидов, сульфидных минералов или сероводорода – наиболее популярная теория происхождения сульфатных минералов в пещерах. Pohl and White (1965) полагали, что пирит из перекрывающих пород поставяет сульфаты в гроты Флинт-Мамонтовой пещеры, Кентукки. Пирит окислился до серной кислоты при выветривании, и сульфат-ион проник в растворе в пещеру. Кальций поступил из известняка, магний – из доломита, а когда они соединились с сульфатом, образовались гипс и эпсомит, соответственно. Perna and Pozzi (1959), Jude (1972), Bertolani et al. (1976) и Calandri (1979; 1980) объясняли образование сульфатных минералов в пещерах своих стран как результат выветривания пирита. Другие сульфиды, например свинца и цинка, могут также способствовать сульфатной минерализации, что можно увидеть в некоторых пещерах на юго-западе Сардинии (Forti et al., 1981).

2. Сульфатная коренная порода. George (1974) не согласен с гипотезой Pohl and White, что пирит является источником сульфатной минерализации во Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки, и предлагает в качестве поставщика сульфата в

<sup>2</sup> Библиографические источники, на которые приводятся ссылки представлены в оригинале книги

эту пещеру перекрывающие эвапориты. George писал, что пещеры с гипсовыми отложениями граничат с известняками Upper Mississippian, и утверждал, что пирит, рассеянный в породе над гротами пещеры, также является источником сульфата. Davidson and Bishop (1971) сообщали о том, что мирабилитовые спелеотемы в той же самой системе находятся только в сухих ходах пещеры под выходящим на поверхность Haney Limestone (известняком), тогда как гипс – ниже Big Clifty Sandstone (песчаника).

В то время как гипотеза о том, что коренная порода является источником сульфата в Флинт-Мамонтовой пещере, до сих пор остается спорной, в других пещерах это точно установлено. В Torgas Cave, Нью-Мексико, гипсовые капельники образовались из эвапоритов, переслаивающихся с San Andres Limestone (известняком) (Hill, 1982). Gudaitis (1966) так же объяснил локальный характер вторичного гипса в Rice Cave, Висконсин, а именно, формацией Maquoketa. Сульфат стронция в перекрывающих породах предполагается источником целестиновой минерализации в пещерах Put-in-Bay, Огайо (Kraus, 1904).

Пирит и эвапоритовая коренная порода – источники сульфата в грунтовой воде, поступающей в различные пещеры или в одну. Различить их очень трудно, поэтому необходимо изучение изотопов серы для доказательства происхождения. Этот метод анализов не применялся для определения генезиса сульфатных минералов пещер, за исключением Seeman (1982) в Dachstein-Mammuthohle, Австрия, Lei and Zhu (1983) в Gypsum Crystal Cave, Guizhou, Китай, и Hill (1986) в Карлсбадской пещере, Нью-Мексико.

3. Гуано летучих мышей. Гипс почти всегда побочный продукт выщелачивания гуано летучих мышей. Martini and Cavalieris (1978) описали более 1000 м<sup>2</sup> «candy floss» (сахарного потока) гипса, покрывающих сильно разложившееся гуано летучих мышей в West Driefontein Cave, Южная Африка. Многие авторы, упомянутые в главе «Фосфаты», также описывали гипс, рассеянный между фосфатными минералами в гуано летучих мышей, как правило, это более верхняя часть отложений или на поверхности гуано.

4. Базальт. Гипс, мирабилит и тенардит – все они были описаны в лавовых трубах, мирабилит – наиболее распространенный сульфатный минерал в этих условиях (рис. 1). Сера и натрий в мирабилите и тенардите поступают из базальта.

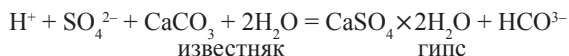
Описано четыре механизма отложения сульфатов.

1. Сульфатные отложения могут быть простым веществом – сульфат-ионом. Сульфатные растворы достигают стен пещеры, благодаря испарению происходит кристаллизация и гидратация, сульфатная минерализация выдавливается через небольшие поры в стене. Wright (1858) первым так представил этот процесс:

«Гипсовые кристаллы выдавливаются из стен в результате давления, созданного гидратацией, силы кристаллизации способствуют растрескиванию породы в различных направлениях».

Этот механизм, возможно, один из самых распространенных в большинстве пещер. При обрушении кровли можно видеть прожилки гипса, внедрившиеся в известняк; некоторые слои известняка полностью замещены гипсом.

2. Pohl and White (1965) предложили механизм, при котором насыщенные сульфатные растворы просачиваются по направлению к пещере и при достижении ее вступают в реакцию с известняком:



Так как в реакции участвует ион бикарбоната, при внедрении растворов в пещеру происходит улетучивание диоксида углерода, и, если реакция идет нормально, отлагается гипс. Гипс замещает известняк на границе стена–воздух, кристаллизационные силы способствуют растрескиванию известняка, что приводит к обрушению кровли.

J. Martini подверг сомнению этот механизм, выполнив расчеты активности различных ионов в растворе в равновесии с гипсом, кальцитом и диоксидом углерода.

Расчеты показали, что растворимость гипса не уменьшается при понижении парциального давления диоксида углерода, но немного увеличивается. Это показывает, что, согласно Martini влияние диоксида углерода на отложение гипса в пещере исключается.



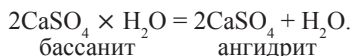
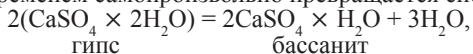
Рис. 1. Мирабилитовая кора в лавовой трубе, Орегон. Фото Чарли и Джо Ларсон

3. Следующий тип замещающего процесса предложил Egemeier (1973; 1981): «замещающий раствор», в котором сероводород окислился до серной кислоты, при взаимодействии с известняком образует гипс. Гипс, замещающий таким способом известняк, образует, как правило, тонкие (несколько мм) коры или мондмилльховые отложения на стенах пещеры и потолка. Такое замещение наблюдалось в Kane caves, Wyoming, by Egemeier, в итальянских пещерах, таких как Fiume Vento, а также, возможно, в Cocaliere Cave и других пещерах Франции (Choppy, 1975).

4. Гипс может образоваться и при обычном испарении соляных растворов. Крупные селенитовые мечевидные кристаллы, образованные в таких условиях, наблюдались в пещере Мечей, Naica, Мексика.

**Устойчивость сульфатов.** Сульфатные минералы очень различаются по растворимости и устойчивости в различных условиях пещеры. Целестин предположительно в воде нерастворим, однако Kraus (1904) доказал, что целестин в осадочной обстановке более чем в семь раз растворим, чем известняк, в котором он рассеян. Эпсомит и мирабилит подвержены быстрому растворению в воде, в отличие от гипса, который растворяется незначительно.

Гипс устойчив при обычной пещерной температуре и влажности, при очень высокой температуре и низкой относительной влажности дегидратируется до бассанита, который со временем самопроизвольно превращается снова в ангидрит:



Diaconu (1974) первым описал ангидрит как пещерный минерал (в Diana Cave, Румыния), объяснив его генезис высоким содержанием NaCl и  $\text{MgCl}_2$  в термальной воде. Cody (1978) наблюдал ангидритовые коры в Ruatapu Cave, Новая Зеландия; Forti



et al. (1981) описали ангидритовые геликтиты в пещере в галите, Mt. Sedom, Израиль. В последней пещере образование минерала связывают с растворами с высоким содержанием галогенида.

Jude (1972) первым сообщил о бассаните как о пещерном минерале, описав антодиты в пещере Rodna Mountains, Румыния, на верхушках игольчатых кристаллов гипса и бассанита. Позже Hill (1979) обнаружила ангидрит и бассанит в пещере Big Bend National Park, Техас. Пещеры здесь небольшие, и пещерная температура и влажность тесно связаны с температурой и влажностью на поверхности, которые могут достигать 35 °C и больше и быть ниже 10 %, соответственно, в летние месяцы. Здесь сульфат кальция первоначально осаждается из грунтовых вод как гипс, затем дегидратируется до бассанита и ангидрита. Hill не обнаружила доказательств регидратации ангидрита или бассанита обратно в гипс.

Многие исследователи утверждали, что гипс в пещерах кристаллизуется только в сухих гротах. Ford (1975) опроверг необходимость теплой сухой среды пещеры для отложения гипса, сообщив о температуре 27 °C и относительной влажности 97–100 % в Castleguard Cave, альпийской пещере в Canadian Rockies. Здесь иголки селенита в пределах 1 см, по-видимому, еще растут из активно растущих карбонатных спелеотемов. Механизм совместного отложения карбонатных и гипсовых спелеотемов объяснили Forti and Marsigli (1978). Они проанализировали физико-химические условия, при которых гипсовые кристаллы растут поверх кальцитовых натеков и кораллоидов в гипсовых пещерах близ Болоньи, Италия. Авторы показали, что отложение кальцита контролируется высвобождением диоксида углерода, а гипса – испарением небольшого количества воды, достигающей верхушек натеков через капилляры или поверхности натяжения. Все описанные гипсовые кристаллы на кальцитовых натеках или кораллоидах находятся в местах сильной вентиляции и испарения. Другую, более полную картину можно увидеть в пещере на юге Франции; здесь гипсовые кристаллы покрывают арагонитовые геликтиты, внутренность которых состоит из кальцита (P. Cabrol). Как и в случае пещер Болоньи, такое совместное нахождение минералов произошло благодаря вентиляции и испарению. Растворимые сульфаты эпсомит и мирабилит очень чувствительны к изменениям относительной влажности и температуры. Они могут растаять, даже если на них подышать или близко поднести карбидную лампу. Если их вынести из пещеры, они превращаются в белый порошок. Davidson and Bishop (1971) сообщили, что мирабилит есть в сухих частях Флинт-Мамонтовой пещерной системы, Кентукки, где относительная влажность часто бывает ниже 90 %. Это наблюдение согласуется с тем, что при относительной влажности ниже 88 % и температуре 10–15 оC мирабилит устойчив, при повышении влажности минерал будет растворяться и рассеиваться в окружающей коренной породе или почве.

Эпсомит устойчив приблизительно в тех же условиях. Hill (1986) соотнесла выцветы эпсомита и мирабилита в пещерах гор Гваделупе, Нью-Мексико, с наименьшей относительной влажностью в сухие зимние месяцы. Также в Fort Stanton Cave, Нью-Мексико, Hill (1984) писала, что эпсомитовая «вата» кристаллизовалась приблизительно в январе не позднее весны. «Cotton wool» (шерсть) мирабилита образуется в Simpsons No.1 Cave, Новая Зеландия, в июне–августе (здесь в это время зима), она обильна весной (ноябрь), но исчезает снова в марте (Cody, 1978).

Если относительная влажность в пещере понижается до 70 %, эпсомит ( $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ) будет дегидратироваться до гексагидрита ( $\text{MgSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ ), а если понижение будет продолжаться, то и до кизерита  $\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ . Точное значение относительной влажности, при которой происходят обе трансформации, не известно. Freeman et al. (1973) писал о том, что гексагидрит в Lee Cave, части Флинт-Мамонтовой пещерной системы, Кентукки, образовался в условиях низкой влажности, но не уточнил, какой именно. Кроме того, P. Urbani (1974) описал только эпсомит в Cueva Cantera de Baruta, Венесуэла, где влажность в пещере варьируется от 60 до 90 %. Кроме того, P. Urbani (1974) обнаружил эпсомит и гексагидрит в Cueva Ermitano, Венесуэла, где в сухой сезон влажность понижается до 40 % и меньше. Гексагидрит найден у входа

Wyandotte Cave, Индиана (White, 1961). White (1968) еще уточнил, что гексагидрит может быть устойчивой формой в равновесии с паром при относительной влажности 50 %. Frost (1971) с помощью рентгеновских лучей изучил осколок эпсомитового сталактита из Cottonwood Cave, Нью-Мексико, и обнаружил смесь гексагидрита и эпсомита. Осколок при выносе из пещеры потерял свой блеск и полупрозрачность, что позволило сделать вывод о том, что эпсомит дегидратируется до гексагидрита вне пещеры. Hill (1986) пишет о температуре 12,2 °C и влажности 79 % в Cottonwood Cave (в мае); отсюда вероятно, что эпсомит дегидратируется до гексагидрита при влажности ниже 79 %. Bernarsoni (1962) описал незначительное количество кизерита  $MgSO_4 \cdot xH_2O$  в Tana di Val Serrata Cave, Италия. Предположительно этот минерал – результат дегидратации эпсомита при обычных условиях пещеры, но эти условия не уточнены.

Тенардит ( $Na_2SO_4$ ) впервые был описан как пещерный минерал. Bertolani (1958) определил этот минерал и мирабилит ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ), находящиеся совместно в глиняных отложениях в небольшой пещере в Италии. Он воспользовался редким удобным случаем непосредственного наблюдения природной трансформации мирабилита в тенардит внутри пещеры. При температуре 21 °C и влажности 67 % мирабилит и тенардит устойчивы; при той же температуре, но влажности 54 % существует только тенардит, в то же время при 22,8 °C и влажности 67 % – только мирабилит. Находка Hill (1980) тенардита в Pissagah, Калифорния, в лавовой трубе, возможно, подлинная, так как наблюдаемые здесь температура 20 °C и влажность 37 % находятся в пределах поля устойчивости минерала. Этот сульфат натрия может первоначально осаждаться в виде мирабилита (т.к. имеет игольчатый облик), а затем, когда в пещере становится суше, дегидратируется до тенардита.

На вулкане Этна, Италия, в новой лавовой трубе, возникшей во время извержения 1983 г., члены спелеологической группы Катании в 1984 г. обнаружили исключительное зрелище тенардитовых спелеотемов: жемчужные просвечивающие бело-желтые сталактиты, колонны и натеки более 2 м длиной. Все сталактиты имели углубления около 0,5 см в диаметре, все слоистые, кристаллы тенардита были вытянуты перпендикулярно слоистости. При первом посещении температура в пещере оставалась все еще очень высокой – 40 °C, достигая 80 °C на глубине. Влажность не измерялась, но, возможно, была очень низкой. Это было самым первым наблюдением тенардита в лавовой трубе вулкана Этна, а также первым посещением ее спелеологами вскоре после образования. Тенардитовые спелеотемы после наблюдения их в 1984 г. исчезли с установлением равновесия условий пещеры с региональным климатом.

Две двойные соли, бледит и неназванная лабильная соль натрия и кальция, устойчивы в пещере при температуре 12–15 °C, но их стабильность по отношению к влажности не известна. Устойчивость всех сульфатных минералов как функция температуры и влажности нуждается в дальнейшем изучении.

Сульфатные спелеотемы. Классификация сульфатных спелеотем затруднена не только потому, что очень много их морфологических разновидностей, но и по причине ошибочных названий в литературе при их описании. Впервые классифицировать типы сульфатных спелеотемов попытались White and Fisher (1958), а затем White (1968) и George (1974). Предлагаемая нами классификация (табл. 2) похожа на предыдущие, но более детальная, здесь типы делятся на подтипы, указаны различия между обычно используемыми синонимами.

Таблица 2

### Классификация сульфатных спелеотем

Тип /Подтип	Синонимы	Морфологические особенности	Генезис
<b>Boxwork (Боксвок, коробчатые образования)</b>		Тонкие пластинки селенита	Заполнение трещин
<b>Кораллоиды</b>	Попкорн	Почковидные, похожие на карбонатные кораллоиды. Часто с макроскопическими пластинками гипса, образующими почку в виде розетки	Тонкие пленки воды; просачивающейся или разбрызгивающейся

<b>Коралловые трубки</b>		Гипс; аналогичны карбонатным двойникам. Внешняя кора по химическому составу идентична внутренней рыхлой части	Капающая вода над гипсовым мондмилльхом или массивным гипсом
<b>Кора</b>	Снежки, пузыри	От зернистой до волокнистой; гипс, эпсомит, ангидрит, мирабилит, гексагидрит или бледит	Просачивающаяся вода
Пластинчатый гипс		Пластинки гипса образуют шероховатую поверхность, аналогичную «вельветовой» у кальцитовых спелеотемов	Крупные пластинки образуются в условиях высокой влажности
Радиально-лучистый гипс	Гипсовые звезды, splatters	Гипсовые кристаллы располагаются радиально по кругу, расходятся из общего центра; рост параллельно стене	Капающая в одном месте вода; поверхность натяжения
Целестин		Светло-голубые коры; обычно находится вместе с гипсом	Растворы поступают из насыщенного $\text{Sr}$ известняка
<b>Идиоморфные кристаллы гипса</b>	Розы	Гипс образует крупные линзовидные кристаллы, сфероидальные агрегаты чечевицеобразных или пластинчатых кристаллов	Вода, просачивающаяся через мощные глиняные отложения
<b>Гипидиоморфные кристаллы гипса</b>	Кусочки, обломки, «эродированные» кристаллы	Гипидиоморфные кристаллы гипса в пещерной почве	Гипидиоморфные кристаллы растут в ограниченном пространстве
<b>Волокнистые сульфаты</b>	Волосы ангела, нити	Отдельные волокна гипса, эпсомита или мирабилита, вытянутые по оси $c$	Просачивающаяся вода. Кристаллы растут путем выдавливания из основания уже образовавшихся кристаллов новыми порциями выпадающего осадка
Волосы			
Вата	Шерсть, пух, puffballs, хлопок, сахарная вата, борода, бакенбарды	Короткие волокна, спутанные в массу, похожую на вату. Гипс, эпсомит, мирабилит	Вата часто располагается на полу; волосы и веревки – на потолках и стенах. Снег – материал, обрушившийся с потолков и стен на пол и выступы
Веревка		Параллельные пучки гипсовых волокон, скрученные в виде веревки	
Снег	Порошок	Мелкие зерна волокнистого гипса	
<b>Цветы</b>	выцветы, гипсовые цветы	«Лепестки» селенита, эпсомита, мирабилита, расходящиеся из общего центра или основания. Кору гипса покрывают гипсовые цветы, ориентированные перпендикулярно поверхности известняка. Цветы пробивают кору, образуя уникальные формы	Просачивающаяся вода; источник внутри того же самого источника, из которого образуется кора
Комбинация цветков-коры	Пауки, транзисторы, расчески		
<b>Геликтиты</b>		Эпсомит и ангидрит; центральный канал. Неустойчивы по сравнению с карбонатными геликтитами	Рост кончика центрального капиллярного канала
<b>Мондмилльх</b>		Гипс, ангидрит. Эквивалент карбонатного мондмилльха	Сульфатные воды, просачивающиеся через почву пещеры, или конденсация пещерного воздуха с $\text{H}_2\text{S}$
<b>Иглы, селенит</b>	Стрелы	Идиоморфные кристаллы селенита; обычно двойники «ласточкин хвост» (рыбий хвост)	Просачивающаяся вода, обычно через почву пещеры
Трава	Пампаская трава	Пучки селенитовых иглолок, перегибающихся друг с другом. Располагаются очень плотно	Новые растворы поступают к основаниям уже растущих кристаллов
<b>Оторочки</b>		Аналоги кальцитовых оторочек; окаймляют углубления в массивном гипсе или в коренной гипсовой породе	Материал осаждается вокруг углублений благодаря изменению скорости воздушного потока, температуры или влажности

<b>Сталактиты</b>	Dendate gypsum	Сталактиты и соломки гипса, эпсомита или мирабилита. Напоминают висячие когти или корни деревьев	Капающая вода
<b>Сталагмиты</b>		С волнистыми сторонами; часто капли делают углубление в его центре	Капающая вода. Ненасыщенные растворы образуют углубления
<b>Мечи</b>	Лопасты	Крупные кристаллы селенита до 2 м длиной. Обычно призматические, иногда двойники «ласточкин хвост»	Субкавальные образования ниже уровня воды; насыщенные растворы

Употребляются наиболее популярные названия или те, которые впервые были использованы в литературе. Менее используемые названия или названия местного характера принимаются как синонимы. Необходима стандартизация терминов. Основа данной классификационной системы – морфология и генезис.

Prinz (1908), изучавший спелеотемы одним из первых, писал: «Множество форм отложений обусловлено просачиванием воды, капели, степени ее насыщения, формы пустоты, куда она поступает и т.д. и т.п., так что их внешний вид может быть бесконечно разнообразным». Prinz был точен, говоря о карбонатных спелеотемах, но его замечание лишь частично применимо к типам сульфатных спелеотемов. Какие факторы способствуют изменениям морфологии? Например, почему starburst (гипсовые звезды), покрывающие пещерные стены в виде налета, замещают волокнистые коры или цветы? Каковы причины параллельного стенам роста тех же гипсовых звезд вместо перпендикулярного? Какие факторы способствуют росту волокон сульфатов, образующих длинные волосы или перевитые веревки, на месте уже сформировавшихся равномерно-зернистых кристаллических кор? На все эти вопросы нелегко ответить на основе имеющихся данных.

**Селенитовые коробчатые образования.** В пещерах хорошо изучены гипсовые, кальцитовые, лимонитовые и кремнеземистые коробчатые образования, в отличие от селенитовой разновидности. Все находки последней сделаны в Нью-Мексико и больше всего в Crockett's Cave, где перегородки выступают из стены более чем на 10 см. Толщина их варьируется от 0,2 до 4 см, отдельные «коробочки» бывают со сторонами от менее 1 см до 35 см (R. Breisch). Наряду с селенитовыми, в той же пещере в главном ходе находятся кальцитовые коробчатые образования. Селенитовые «коробочки» крупнее кальцитовых, перегородки также толще благодаря вторичным гипсовым корам, покрывающим их поверхности. Селенитовые коробчатые образования в Crockett's Cave ограничены отдельным эвапоритовым слоем в коренной известняковой породе.

Селенитовые коробчатые образования в Chaves de Baca, Triple Engle Pit and Park's Ranch Cave развиты в пещерах в гипсовой коренной породе. В этих случаях коробчатые образования обычно меньше, чем в Crockett's (сторона 1–2 см, глубина 1–5 см), но в Park's Ranch Cave стороны коробочек могут достигать 20–30 см. Здесь коробчатые образования имеют необычную форму: параллельные плотно расположенные перегородки заполняют вертикальные трещины. Эти коробчатые образования выветрились непонятным способом, так как образуют «оперения» перегородок, которые выступают из рядов (J. Corcoran). Перегородки молочно-белого цвета, некоторые с коричневым пленочным налетом.

Неизвестно, коробчатые образования в пещерах Нью-Мексико – петроморфные образования или же это спелеотемы, что отмечает Palmer (1981) для карбонатных коробчатых образований, но второе кажется более вероятным. Согласно этой модели сульфатные растворы двигались вдоль трещин по направлению к пещерной стене, и селенит отложился в трещинах благодаря испарению через поры коренной породы.

**Кораллоиды.** Гипсовые кораллоиды очень редки по сравнению с распространенными карбонатными. Kempe (1977) описал их до 1 см толщиной на стенах Klufthohle, Западная Германия. Hill (1982) упоминала об их находке в Torgas Cave, Нью-Мексико, здесь тонкие пластинки гипса образуют подобие розы на поверхности кораллоидов. Hill (1986) также наблюдала небольшие (1 см и меньше)

почки гипсового попкорна непосредственно поверх выпуклостей кальцитового попкорна в Карлсбадской пещере, Нью-Мексико. Гипс покрывает самые верхушки попкорна и более прозрачен, чем кальцит. В Triple Engle Pit, Нью-Мексико, гипсовый попкорн покрыт селенитовыми коробчатыми образованиями (J. Corcoran, спец. сообщение).



Рис. 2. Слева – гипсовые звезды, Fort Stanton Cave, Нью-Мексико. Фото П. Линдслея, справа – гипсовые звезды на обрушенных обломках. Wind Cave, Южная Дакота. Фото Ч. и Д. Ларсонов

Гипсовый попкорн также находили в лавовых трубах. Montoriol Pous and De Mier описали гипсовые кораллоиды, растущие поверх лавовых сталактитов в лавовой трубе на острове Санта-Крус, Галапагос. Автор [Forti] наблюдал гипсовые кораллоиды, активно растущие на стенах некоторых лавовых труб на вулкане Этна; в этих пещерах они достигают 5 см в диаметре.

Сульфатные кораллоиды редки в пещерах по сравнению с карбонатными, так как последние легко осаждаются из тонких пленок воды, стекающих по стенам, в то время как сульфатные обычно кристаллизуются непосредственно внутри стен, а уже затем «выдавливаются» из пор коренной породы, что отчасти похоже на выдавливание зубной пасты из тюбика. Рост гипсовых кораллоидов поверх кальцитовых, возможно, обусловлен влиянием воздушного потока и испарения, что установили Forti and Marsigli (1978) для гипсовых кристаллов, покрывающих кальцитовый попкорн.

**Коралловые трубки.** Гипсовые коралловые трубки описаны в пещерной системе Grotta del Fieme-Grotta del Vento, Анкона, Италия (Perna and Pozzi, 1959), и в пещерах гор Гваделупе, Нью-Мексико (Hill, 1986). В Fiume Vento Cave гипсовые коралловые трубки по форме и размерам идентичны кальцитовым, но отличаются тем, что находятся в гипсовом мондмилхе, а не в глине или иле. Гипсовые коралловые трубки в Fiume Vento до 12 см высотой, их тонкие наружные коры состоят из очень маленьких (1–2 мм) селенитовых иголок, ориентированных параллельно поверхности трубки. Автор [Forti] наблюдал несколько крупных (6–8 см) иголок селенита, растущих прямо на верхушках некоторых коралловых трубок, подпитываемых, по-видимому, из мондмилха внутренней части трубок.

В Карлсбадской пещере и других пещерах гор Гваделупе гипсовые коралловые трубки находятся в массивных гипсовых отложениях на полу пещер. Они могут уходить на глубину до 1 м, толщина их 1 см, а состоят они из пластинчатых кристаллов гипса, покрывающих рыхлую сердцевину из массивного гипса.

Гипсовые коралловые трубки образуются так же, как и кальцитовые, но вместо глины или ила здесь присутствует рыхлый гипс. Капли воды, падая, образуют углубление в мягком субстрате в виде трубки, более твердые слои кристаллического гипса покрывают ее стенки, препятствуя дальнейшей эрозии. Таким способом



образуется характерная трубоподобная форма.

**Коры** – наиболее распространенные из всех типов сульфатных спелеотемов, часто покрывают целые километры пещерных ходов в виде незаметных налетов, сливающихся с известняковыми стенами, или, наоборот, образуют видимые искрящиеся кристаллические оторочки. Сульфатные коры бывают двух разновидностей – зернистые и волокнистые. Зернистые коры состоят из изометричных, изогнутых или таблитчатых кристаллов гипса длиной несколько миллиметров. Волокнистые коры состоят из волокнистых кристаллов, ориентированных перпендикулярно поверхности или коре. Коры обычно образуют тонкие покровные отложения толщиной до 1 см и более. Больше всего коры развиты там, где вода просачивается в пещеру вдоль разломов или плоскостей напластования на стенах или потолках. Постепенно коры отслаиваются от своего субстрата с поступлением нового кристаллического материала из пород, которые они покрывают.

Практически все сульфатные минералы, формирующиеся в обычных условиях карста, встречаются в виде кор. Бассанит и ангидрит, дегидратированные формы гипса, описаны в виде кор; сцементированных и обесцвеченных до тускло-коричневых снаружи, губчатых с множеством углублений внутри (Hill, 1979). Гипсовые коры часто имеют пузырчатую поверхность, иногда выпуклости разрушаются, обнажая тонкое порошковое заполнение, состоящее из гипса, кальцита, халцедона или опала (Moore, 1952). «Снежки» гипса – термин, иногда используемый для кор с гемисферическими пузырями. В Snowball Dining Room, пещера Мамонтова, Кентукки, на потолке сверкают «снежки», про которые Hovey (1896) писал: «...как-будто снежные комья швырнули на стены, и они там прилипли».

Эпсомитовые и мирабилитовые коры отличаются от гипсовых по вкусу, прозрачности, блеску. Как правило, мирабилитовые коры встречаются в лавовых трубах, но бывают также в известняковых пещерах, куда поставляется натрий. Rogers (1973) описал светлые мирабилитовые коры в Whipple Cave, Невада, а White and Deike (1962) – коры мирабилита, состоящие из чистых, как вода, кристаллов до 1 см длиной в Wind Cave, Южная Дакота. В Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки, эпсомитовые и мирабилитовые коры напоминают изморозь или растаявший снег.

Целестин в пещерах чаще всего представлен корами. Может ассоциировать с гипсом – как в настенных корках в Cumberland Caverns, Теннесси, и в Флинт-Мамонтовой пещерной системе, Кентукки. В Cumberland Caverns гребешки светло-голубого целестина покрывают трещины в стене, за что и получили название «Серебряные Briers (колючки?)». Серо-голубой целестин покрывает площадь около 30 м длиной в исторической части Floyd Collins Crystal Cave, в Флинт-Мамонтовой системе (Hill, 1981). Ферсман (1926) описал мелкие бледно-голубые кристаллы целестина с крупными кристаллами гипса и кальцита на потолке в пещере Туя-Муюн, СССР, похожие кристаллы целестина с гипсом и кальцитом сфотографированы в Groaning Cave, Колорадо. В Cango Cave, Южная Африка, мелкие хорошо сформированные небесно-голубые целестиновые кристаллы более 3 мм длиной сгруппированы в розы на «косичке» кальцитового геликтита и на кальцитовом попкорне (J. Martini, спец. сообщение). Целестин обязательно находится с гипсом

Две находки целестина – кристаллические оторочки отдельно от гипса и кальцита. Ozogay (1960) описал кристаллы целестина в термальных пещерных источниках Венгрии. В Miller Cave, Техас, отдельные призматические кристаллы целестина 1–10 см длиной выступают из целестиновых кристаллических масс 0,3–1 м толщиной. Самые известные находки целестина – в пещере в Pit-in-Bay, Огайо, в небольшой «Crystal Cave» с бледно-голубыми кристаллами, некоторые из которых достигают 45 см длины (Wright, 1898). Подобных этим кристаллам целестина по форме и безупречности не найдено нигде больше в мире.

Сульфатные коры делятся на два подтипа: пластинчатый гипс и радиально-лучистый. Радиально-лучистый состоит из кристаллов, радиально расходящихся из общего центра в форме звезды. Кристаллы растут параллельно стене, а не перпендикулярно, что характерно для большинства гипсовых кристаллических

разновидностей. Лучше всего радиально-лучистый гипс представлен в Fort Stanton Cave, Нью-Мексико, где отдельные его кристаллы растут как продолжение спутанных прозрачных бесцветных селенитовых кристаллов. Зона прорастания тесно расположенных радиально-лучистых образований диаметром 2–12 см достигает максимальной толщины 1 см. В Wind Cave, Южная Дакота, радиальные пучки гипса несколько сантиметров в диаметре растут на обнажившейся поверхности обрушившихся пластов коренных пород (Palmer, 1981). Здесь их называют гипсовые «splatters» (всплески, вспышки, брызги), так как они выглядят так, как если бы их splatted (выплеснули) на пол. В Fiume Vento Cave, Италия, я [Forti] видел радиально-лучистый гипс до 2,5 см в диаметре.

Пластинчатый гипс – коры, имеющие макроскопические пластинчатые кристаллы гипса на своей поверхности. Отдельные пластинки могут быть 0,5–2,5 см длины, 1–3 мм ширины, около 1 см высоты. Пластинчатые кристаллы своей лицевой стороной (поверхность пинакоида) ориентированы под углом 40–90° к поверхности роста, группа этих кристаллов образует «селенитовые розы».

Сульфатные коры отлагаются из растворов, просачивающихся через коренные породы. Просачивание может быть однородным – образуются ровные непрерывные коры, или же преимущественно вдоль трещин и плоскостей напластования – образуются отдельные участки, покрытые кристаллическим материалом. Обычно коры располагаются на стенах и потолках, а не на полу, так как поверхность стен и потолков непосредственно соприкасается с просачивающимися метеорными водами. Все сульфатные коры растут в субэвальных условиях; образованные ранее гипсовые кристаллические отложения выдавливаются наружу из стен новейшими отложениями. Неровный рост поверхности – результат изгибов и вспучивания кор. Коры растут, становятся толще и тяжелее, отслаиваются от стен и обрушиваются на пол.

Разновидности кристаллического типа – радиально-лучистый и пластинчатый гипс – результат небольших изменений условий. Радиально-лучистый гипс образуется там, где вода просачивается из отдельной пустоты, а не из большого количества равномерно расположенных пор. Hill (1984) описала крошечные кальцинированные впадины за центрами радиально-лучистого гипса в Fort Stanton Cave, Нью-Мексико. Она также отметила, что кристаллы выдавливают тонкие чешуйки глины, что доказывает, что кристаллы радиально-лучистого гипса растут из центра. Я [Forti] наблюдал в Fiume Vento Cave кристаллы, растущие из центра радиально-лучистого гипса. По-видимому, сульфатные растворы нагнетаются вдоль поверхностей центральных кристаллов, что способствует не перпендикулярному, а параллельному стенам росту радиально-лучистого гипса.

**Идиоморфные кристаллы селенита.** Одна из особенностей гипсовых пещер Болоньи (Италия) – большое количество селенитовых кристаллов, растущих поверх или внутри пещерной глины или в заполненных песком трещинах. Кристаллы различаются по форме, размеру и степени совершенства. Крупные кристаллы найдены в пустотах высотой до 10 м, вскрытых гипсовым карьером: от линзовидных медового цвета до прозрачных более 1 м в диаметре, но толщина только 10 см и меньше. Обычно кристаллы в пещерах Болоньи гораздо мельче, самые большие 10–15 см длиной. В Temprio Cave совершенно плоские идиоморфные кристаллы гипса прозрачные до белых, более 3 см длины, некоторые покрыты песчинками. В пещерах Ragno and Buco del Belvedere сфероидальные агрегаты медового или белого цвета полупрозрачные с линзовидными или плоскими кристаллами (местное название «розы») могут достигать 10 см в диаметре, в то время как в Novella Cave псевдогексагональные кристаллы, иногда изогнутые, обычно встречаются с плоскими гипсовыми «розками».

Также в Novella Cave найдены самые необычные кристаллы Болоньи: «эродированные кристаллы», так их называли спелеологи, сложные, иногда дендритовые формы, достигающие 15 см длины. «Эродированные» кристаллы в Novella Cave – это в действительности гипидиоморфный гипс, идентичный селенитовым «кусочкам» или «обломкам», описанным в литературе (табл. 2). Эти кристаллы не настоящие «эродированные», так как они образуются не путем растворения или коррозии, а

недостаточно развившиеся кристаллы, формирующиеся в рыхлых отложениях. Hill (1984) обнаружила «кусочки» идиоморфного гипса в грунте Fort Stanton Cave, Нью-Мексико, непосредственно ниже безупречно развитых иголок на поверхности почвы.

Существование идиоморфного селенита в пещерах Болоньи возможно, так как глиняный субстрат, в котором растут кристаллы, очень рыхлый и пластичный. Образование всех этих кристаллов происходит благодаря просачиванию воды через субстрат. Отложение происходит, когда глина становится пересыщенной в результате испарения и окисления сульфидов (органических), присутствующих в глине. Окисление сульфидов способствует осаждению тонких пленок оксида железа на кристаллах гипса. В зависимости от рыхлости глиняного субстрата идиоморфные кристаллы иногда «переходят» в гипидиоморфные. «Эродированные» кристаллы не имеют достаточной энергии для выдавливания глины для своего нормального роста и становятся гипидиоморфными.

Волокнистые сульфаты – спелеотемы, состоящие из волокнистых кристаллов гипса, эпсомита или мирабилита. Их можно разделить на четыре морфологических подтипа в зависимости от длины волокон и способа их переплетения друг с другом. В этом типе спелеотемов больше всего названий; многие используемые синонимы для каждого из этих четырех подтипов представлены в табл. 9.

*Волосы.* Пещерные волосы состоят из отдельных волокон, прядей, свободно свисающих с потолков или стен пещер или спутанных друг с другом так, что напоминают «волосы ангела». Известны волокна, достигающие 2 м длины и более, но обычно это несколько сантиметров. Отдельные сульфатные волокна могут быть эластичными, как галитовые, или, как гипсовые, закручиваться в спираль против часовой стрелки (имея в виду кончик).

Casteret (1953) описал подтип волокнистых сульфатов, назвав его «волосы ангела» или «гипсовые нити»: «...Серебряные нити с блеском шелковой пряжи, тонкие, как паутина, дрожат и рвутся от дыхания, свисают с потолка и стен. Этими минеральными нитями можно поранить палец, даже завязать узел ... очень необычные формы гипса».

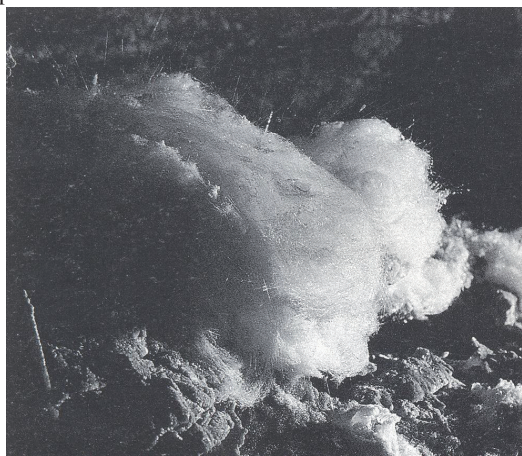


Рис. 3. Слева – гипсовые клубки около 15 см в диаметре, Wind Cave, Южная Дакота.

Фото А. Палмера; справа – гипсовая борода 40–50 см длиной, Lartion cave, Атика, Греция.

Фото Я. Каракостоногли

Дублянский и Suprychev (1970) описали похожие на волосы формы гипса в Крыму, СССР, которые, вытягиваясь под собственным весом, достигают определенной длины. Волокна не рвутся и могут закручиваться в спирали, так как гипс гибкий. В одной из пещер свинцового рудника of Los Lamentos, Мексика, длинные нити гипса

«красиво колыхнутся при любом движении воздуха» (Rickard, 1924). George (1985) описал небольшие пряди волос ангела в Thornhill Cave, Кентукки; Larsen (1961) наблюдал волосы ангела в Fitton Cave, Арканзас, состоящие из гибких тончайших нитей (напоминающих волосы), свисающих с потолка пучками.

В Fort Stanton Cave, Нью-Мексико, волокна эпсомита более 12,5 см длиной свисают с потолка и с выступов стен (Hill, 1984). Они очень чувствительны к теплу и движению воздуха, даже сила и тепло дыхания человека может вызвать их отрыв от стен и потолка.

*Cotton (вата, хлопок).* Пещерная вата состоит из массы спутанных волокнистых или игловидных кристаллов. Этот подтип волокнистых сульфатов обычно образуется на полу и выступах коренных пород. Если масса имеет однородное строение – она называется «шерсть», «пух» или, как в Южной Африке, «сахарный поток». Если же кристаллы сгруппированы в округлые гемисферические бугорки, то это «шерстяные клубки» или «хлопковые коробочки». Пещерная вата, образующаяся на потолках, имеет различные красивые формы: отдельно свисающие волокна похожи на «бороду» и «бакенбарды».

Гипсовая вата образована из очень тонких обособленных кристаллов гипса менее 0,1 мм в диаметре, до 1 см длиной, волокна вытянуты по с-оси, очень гибкие и легко изгибаются (White, 1968). Красивейшие «клубки» около 15 см в диаметре встречены в Wind Cave, Южная Дакота.

В одной из частей Jewel Cave, Южная Дакота, свисающие легкие волокна гипсовой «бороды» действуют как флюгер, указывая направление воздушного потока. Они настолько тонкие, что колыхнутся, подобно паутине, при каждом дуновении воздуха. Damian и Gines (1981) описали особый тип волокнистого гипса в Cueto-Conventosa Cave, Santander, Испания, названный ими «папина борода», так как спелеотем растет с потолка и образует длинные (до 1 м) белые «бороды». (Это образование предварительно ошибочно было принято за горное молоко Morverand, 1979; 1980). Гипсовые «бороды» 40–50 см длиной найдены в естественных пещерах Lartion, Attiki, Греция (I. Karakostanogloy); в Cueva de los Verdes, Канарские острова (J. van der Pas); Jozsef-hegyi Crystal Cave, Венгрия (I. Crajlik).

Эпсомит и мирабилит тоже образуют «вату». Эти минералы часто использовались людьми и имеют очень интересные описания с точки зрения истории. В Мамонтовой пещере, Кентукки, индейцы использовали мирабилитовую «вату» как соль (она имеет соленый вкус) и, возможно, как слабительное средство (Watson et. al., 1969). В одном из самых первых описаний гипсовых пещер Болоньи, Италия, упоминаются большие «поля» эпсомитовых волокон в одной из пещер (Laghi, 1806). В своем труде Laghi предполагал, что эпсомит добывали, чтобы сэкономить расходы города Болоньи при покупке эпсомитовых солей в Англии.

Эпсомит разрабатывался также и в Мамонтовой пещере, Кентукки, согласно Farnham, еще в 1881 г.: «Худшая земля будет давать четыре фунта соли из бушеля, лучшая – 20–25 фунтов... В различных местах стены покрываются тем же веществом, восстановление идет очень быстро. Чтобы проверить, я оставил в особом месте черту, а через 4 или 5 недель она покрылась небольшими игольчатыми кристаллами, похожими на морозные узоры».

Farnham (1818) также упоминает про нити эпсомита в Wyandotte Cave – «6–9 дюймов длины и клубки весом в 1–10 фунтов». Blatchley (1897), один из первых исследователей этой пещеры, так описал эпсомит: «По всему периметру комнаты многочисленные отложения тонких белых игольчатых кристаллов эпсомитовой соли (сульфата магния), покрывающие породы и сверкающие, как морозные узоры, при свете наших свечей. Они кажутся выдавленными из вмещающего магнезиального известняка и, если не сломаются, то могут достигать 3–5 дюймов».

White (1961) определил некую волокнистую соль у входа Wyandotte Cave как гексагидрит. Martini (1982) установил нитеподобные выцветы гексагидрита на входе Epsom Pot, Трансвааль, Южная Африка, а также у входов Schurweplaas caves. У входов



пещер низкая влажность, достаточная для устойчивости гексагидрита.

Сульфат натрия – тенардит и неназванная неустойчивая двойная соль натрия и кальция тоже образуют нити. Harter (1976) и Hill (1980) описали тенардитовые волокна как «холмики» или «шарики» в лавовых трубах Pisgah, Калифорния. В Ellison's Cave, Джорджия, образец нити, вынесенный на поверхность, рассыпался; иголки превратились в тонкозернистый порошок состава  $\text{Na}_2\text{SO}_4(x)\text{CaSO}_4(y) \times \text{ZH}_2\text{O}$  (C.Dean, спец. сообщение). Скорее всего, эта та самая неустойчивая двойная соль Na и Ca, описанная Benington (1959) во Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки, –  $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \times \text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ .

**Веревка.** Пещерная веревка – подтип волокнистых сульфатов, свисающих с потолков или с нависающих карнизов и иногда скручивающихся в клубки на выступах. Состоит из пучков волокнистых кристаллов, собранных в параллельные связи, похожие на несученный лен. Этот подтип очень редок, известно лишь несколько примеров.

Лучше всего спелеотем представлен в пещере Grand Canyon, Аризона. Веревка свисает вниз на 22,5 см от места прикрепления к стене, а затем свертывается в 20–30 оборотов на нижнем выступе. Свертывание происходит против часовой стрелки, образуется гряда высотой до 15 см. Пряди веревки состоят из множества параллельных волнистых волокон, как и в настоящей веревке. Отдельные гипсовые кристаллы в веревке достигают длины 11 мм и ширины 0,012 мм (Mowat, 1960). Другой замечательный образец существовал в Cottonwood Cave, Нью-Мексико, но вскоре после открытия был варварски разрушен, длина была 3–4 м, диаметр 2,5 см, скручивалась вниз из выступа. George (1985) также описал веревку длиной 0,3 м в Thornhill Cave, Кентукки.

Другой совершенно исключительный пример существует в Puketiti Flower Cave, Рио Рио, Новая Зеландия. Веревка имеет длину 25 см, 39 оборотов по спирали; спелеологи называют ее «пружина». Согласно A.Cody гипсовая спираль состоит из связок волокнистых кристаллов, закрученных вокруг оси спелеотема.

**Снег.** Волокнистый гипс, отслаивающийся от стен и потолков, может образовывать груды порошкового «снега» на полу пещеры. Locke (1842) описал эпсомитовый снег, накопившийся в Мамонтовой пещере, Кентукки, как «..пучки волосной соли, сульфата магнезия, ...которые периодически отделяются под собственным весом». Астраханит также известен в виде пещерного снега. В Lee Cave, части Флинт-Мамонтовой пещерной системы, астраханитовый снег лежит на полу и обломках обрушившейся кровли (Freeman et al., 1973).

В Duncan Field Cave System, Оклахома, Looney (1969) описал «порошковую пыль со слабым вкусом эпсомитовой соли, в которую я погружался по колено». Schermerhorn (1959) обнаружил порошок, похожий на снег, под нитями и волосами, свисающими с потолка в Fitton Cave, Арканзас, где волокна упали с потолка и накопились в виде чисто белых снегоподобных бугров на песчаном полу.

Все волокнистые сульфаты образуются в результате солевыводящих процессов в зоне капиллярной ирригации. Просачивающиеся воды транспортируют сульфатные растворы к стенам и грунтам пещеры, а когда вода испарится, волокнистые сульфаты выдавливаются из субстрата в виде выплетов. В растущих искусственных пещерных цветах в лаборатории Huff (1940) обнаружено, если поры в процессе роста расположены не плотно, то кристаллы остаются отдельными, и образуются «пушистые» агрегаты, такие как пещерные волосы или вата. Если же поры расположены очень тесно, то образуются цветы. Пещерная веревка формируется в исключительно пористых или раздробленных породах.

**Цветы.** Гипс, эпсомит, мирабилит, дарапскит (нитро-сульфат натрия) и мелантерит (сульфат железа) образуют пещерные цветы – спелеотемы с «лепестками», расходящимися радиально из общего центра. Гипсовые цветы состоят из ветвящихся и изгибающихся связок игольчатых гипсовых кристаллов, свободно прилегающих друг к другу и образующих поликристаллическую массу. Связка «лепестка» цветка состоит из почти прямых волокон, постепенно изгибающихся, повторяющих изгибы



лепестка (W. White). Гипсовые цветы включают в себя разновидности изогнутых форм, наблюдались образцы до 30 см длиной.

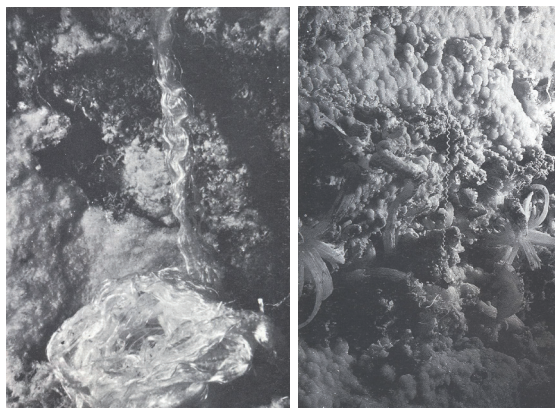


Рис. 4. Слева – гипсовая веревка Grand Canyon cave, Аризона. Диаметр около 2 см, веревка свернута в 20–30 витков. Фото Пит Линдслей; справа – гипсовый геликтит «пружина» – 25 см длина, 39 витков. Puketiti Flower Cave, Новая Зеландия. Фото Т. Ворфи

Гипсовые цветы встречаются во множестве пещер по всему миру, но исключительно красивые они в Grotto de la Cigaliere, Франция, во многих пещерах Южной Кореи, пещерах Sarawak, Малайзия, и Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки. Hovey (1896) назвал гипсовые цветы, увиденные им в Мамонтовой пещере, «выцветы» и очень красиво их описал:

«От центрального ствола грациозно ответвляется множество кристаллов волокнистых и прозрачных; каждый крошечный кристалл мной изучен; каждый пучок – удивительно изогнутые призмы; весь цветок прекрасен. Цветочные пучки, букеты, гирлянды, венки украшают почти каждый фут потолка и стен; пол сверкает, будто усыпан драгоценными камнями. Букеты лилий, бледные анютины глазки, белые тюльпаны, поникшие фуксии, лепестки астр, шипы роз, опавшие магнолии – чем не исчерпывающий ботанический каталог? Фантазия найдет любую драгоценность теплиц и цветников в этой кристаллической оранжерее».

Необычные гипсовые цветы более 10 см длиной ассоциируют с гипсовыми корами непосредственно поверх ледяного ( $H_2O$ ) натека в Devaux Cave, Франция. Цветы и коры полностью отделены ото льда, но небольшие округлые массы микрокристаллического гипса можно обнаружить на глубине 0,5 м от поверхности голубого льда. Образование гипсовых спелеотемов Cailair and Dubois (1953) связали с замерзанием насыщенных сульфатных растворов, поступающих из известняковой коренной породы с пиритом.

Эпсомитовые и мирабилитовые цветы также украшают множество пещер. В Torgas Cave, Нью-Мексико, эпсомитовый цветок длиной около 15 см имеет на своем кончике фрагмент коренной породы, это доказывает, что цветок растет за счет выдавливания из стены. В Cottonwood Cave, Нью-Мексико, эпсомитовые цветы выросли за несколько недель от 25 до 35 см (A. Komensky). Эпсомитовые цветы наблюдали также в Fitton Cave, Арканзас, и в Wind Cave, Южная Дакота.

Мирабилитовые цветы найдены во Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки. Их прозрачные «лепестки» напоминают лисий хвост, самый длинный образовал полукруг около 1 м в диаметре (White, 1976). Прозрачные мирабилитовые цветы покрывают белые коры тенардита на стенах и потолке в пещере близ Modena, Италия. Найдены в Gamma Cieda Cave, Испания (Grodzicki et al., 1978), в Torega la Barea Pothole, Испания, мирабилитовые цветы до 40 см длиной выступают из стен, кровли и пола небольшой галереи (Laverty and Grabtree, 1978). Лучше всего, наверное, мирабилитовые цветы

представлены в пещерах вулкана Elgon на границе Уганды и Кении. Источник мирабилита здесь – растворение сульфатов в насыщенных натрием пирокластических породах, в которых развиты пещеры (Sutcliffe, 1973).

Сульфатные растворы отлагают пучки игольчатых кристаллов в корках. Образуется составная форма кора-цветы, если затем происходит частичное растворение, то появляются «пауки», «транзисторы», «расчески». Rybus (1969) описал первую стадию этого процесса в Puketiti Flower Cave, Новая Зеландия: «Гипсовая кора оторвана от стены кристаллами гипса, выдавленными из внешней коры под прямым углом; это напоминает расческу с выступающими из стены зубьями».

Garton et al. (1973) наблюдали составные формы на более поздней стадии растворения: «транзисторы» (так их назвал Garton), у которых кристаллические «шляпки» покрывали «ножки» остроконечного селенита. Составные формы цветков-кора, напоминающие «пауков», наблюдались в Jewel Cave, Южная Дакота (Palmer, 1984), в Wyoming Cave (R.Garton), а также в Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки.

Сульфатные цветы часто несут кусочек породы, который они отрывают от стены в процессе роста. Более века назад Locke (1842) верно представил механизм роста пещерных цветов: «... с наращиванием основания продолжается непрерывное выдавливание твердых частиц. Если рост на одной стороне происходит немного быстрее, чем на другой, то образуется пропорциональный изгиб; если же уменьшается или увеличивается, то образуется конический или сложный изгиб».

Сульфатные цветы обычно ассоциируют с корками того же состава. Сначала растворы поступают к пещерным стенам, покрывают их тонкими пленками, образуя поверхности натяжения и отлагая тонкие коры. В результате дальнейшего роста, если волокна выстраиваются перпендикулярно стене, может образоваться «цветок». Кончики роста большинства пещерных цветов соответствуют углублениям в волнистой коре, где растворы быстрее всех поставлялись к стене. Цветы начинают расти в выпуклостях покрывающих кор над пузырями и трещинами; затем цветы проходят через кору и свешиваются вниз в виде расходящихся лепестков.

**Геликтиты.** В литературе описано только два сульфатных геликтита. Один – эпсомитовый длиной 1,5 см и 0,5 см ширины закручивается спиралью, горизонтально выходит из соломки эпсомитового сталактита в Cottonwood Cave, Нью-Мексико (Hill, 1977). Второй – ангидритовый, длина 10 см, ширина 0,3 см, в ассоциации с крупными кристаллами галита в пещере вулкана Sedom, Израиль (Forti and Buzio, 1985). Эти геликтиты имеют центральный капиллярный канал менее 0,1 мм в диаметре и образованы игольчатыми кристаллами, вытянутыми перпендикулярно капилляру.



Рис. 5. Гипсовый цветок Big Horn Caverns, Монтана. Фото Чарли и Джо Ларсон

Сульфатные минералы обычно волокнистые, когда отлагаются из просачивающихся по капиллярам растворов, очень редко образуют кораллоиды или геликтиты. Так как сульфаты очень растворимы по сравнению с карбонатами, капилляры быстро закупориваются или растворяются, что еще больше затрудняет их действие.

Происхождение ангидритовых геликтитов вулкана Sedom связывают с просачиванием воды, насыщенной хлором. Внутри их капиллярных каналов нет характерных следов растворения или абсорбции. Очень сухой климат района вулкана помешал регидратации ангидрита в гипс.

**Мондмилх.** Гипс может образовывать рыхлый и пластинчатый белый до бледно-желтого мондмилх, похожий на обычный карбонатный. Гипсовый мондмилх наблюдали в известняковых пещерах и лавовых трубах, но никогда в гипсовых пещерах. В Grotta del Fieme, Италия, гипсовый мондмилх обнаружен в качестве питающего субстрата для роста селенитовых игл.

В известняковых пещерах присутствие гипсового мондмилха приписывается окислению гидрогенных сульфидов пещерным воздухом. Образующаяся в результате серная кислота конденсируется на стенах и потолке пещеры и, реагируя с известняком, образует толстые массы гипсового мондмилха.

**Иглы, селенит.** Селенитовые иглы – микроскопические кристаллы, кристаллы двойники гипса, похожие на иглы для штопки. Кристаллы вытянуты по оси с, большинство двойники срастания по ортопинакоиду «ласточкин хвост» (Hills, 1895). Могут быть короткими трапециевидными или узкими столбчатыми длиной до 1 м и шириной от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Тонкие иглы обычно двойники срастания «ласточкин хвост», толстые – полисинтетические двойники (White, 1968). Длинные тонкие иглы, как правило, чистые и прозрачные и находятся в гипсовых песчаных почвах; короткие столбчатые разновидности – бесцветные до светло-коричневых или даже черных с включениями частиц глины или марганца. Некоторые иглы совершенно прямые, другие изогнуты, как штопоры. Другие остроугольные, V-образные, полосчатые. Иглы могут расти под любым углом к почве: одни стоят под прямым углом, другие стелются, образуя «птичьи гнезда».

В мире существует четыре местонахождения игл: Fort Stanton Cave, Нью-Мексико; Agen Allwedd, Великобритания; Cumberland Caverns, Теннесси; пещера в Большом Каньоне, Аризона. В Fort Stanton Cave селенитовые иглы полностью покрывали пол в Crystal Crawl, ход длиной около 250 м и шириной 7 м. Почти все они были расхищены в 1920–1930-е гг., но первые отчеты свидетельствуют о невероятной красоте Crystal Crawl, когда он был открыт: «Пол» – сверкающая люстра, оказывающаяся кристаллической травой, при пристальном осмотре похожей на множество гвоздей для подков от 1 до 6 дюймов в длину. Все острые, как иглы, и совершенно симметричные с притупленным концом, уходящим в землю на полтора дюйма. Суеверные люди, впервые попавшие сюда, верили, что это волшебные руки, охраняющие владения некоего священного королевства. Дальше они становились все больше, вместе с прозрачными они были полупрозрачные красноватые. За единственным исключением – тропинки, по которой шли посетители в пещеру, их было так много, что нигде не было места, чтобы, опустив пальцы на землю, не уколоться об их кончики» (Green, 1981).

В Agen Allwer Cave, Великобритания, стрелоподобные двойники селенита найдены в виде рассыпчатых отложений на песчанистом полу пещеры или, что совершенно необычно для игл, – на потолке, с расщепленными верхушками, напоминающими кисточки (Warwick, 1962). В Camberland Caverns, Теннесси, иглы 0,2–2 мм в диаметре и более 1 м длиной также находятся в рыхлых отложениях на полу. В Cottonwood Cave, Нью-Мексико, почти все селенитовые иглы сломаны, но очевидцы описывают их до 1,8 м длины: «...они свободно нависали над полом, а, соприкасаясь с почвой, вычерчивали на ней зигзагообразные линии» (J.Trout, спец. сообщение).

Селенитовые иглы 45 см длиной и только 5 мм толщиной известны в пещере

Большого Каньона. Почти все без исключения это двойники срастания, с выемкой в месте соединения. Некоторые кристаллы имеют продольную штриховку поблизости от шва двойникования; возможно, это полисинтетические двойники между двумя крупными главными двойниками (Mowat, 1960b). Селенитовые иглы изгибаются, спирально закручиваются против часовой стрелки, если смотреть вниз на прикрепленный конец.

Уникальный подтип селенитовых игл – «пещерная трава», действительно напоминающая траву в пампасах, известен только в одной пещере. «Гипсовая трава – незабываемое зрелище. Длинные переплетенные селенитовые иглы и пучки игл похожи на неподстриженный газон. Средняя длина пучка 15 дюймов с отдельными иглами до 24 дюймов. Каждый пучок состоит из 30–40 переплетенных игл... В одном из завихрений были обнаружены сотни отдельных игл, спирально перекрученных между собой против часовой стрелки» (Bridgemon, 1967).

С пещерной травой Большого Каньона можно сравнить лишь иглы Fitton Cave, Арканзас, лежащие на песке или «торчащие, как пучки травы» (Larsen, 1961).

Селенитовые иглы обычно растут с пола пещеры, очень редко на стенах или потолках. Сульфатные растворы поступают к поверхности, где испарение способствует гипсовой кристаллизации на границе почва–воздух. Иглы растут от поверхности почвы, основание их выступает только на несколько миллиметров. При поступлении нового материала к основанию происходит выдавливание старого. В Fort Stanton Cave частицы почвы, поднятые вверх в процессе роста, прикреплены к сторонам игл или находятся между тесно расположенными пучками игл.

**Оторочки.** Гипсовая оторочка аналогична кальцитовый или арагонитовой – это оболочка или нарост, ровный внутри и шероховатый снаружи, покрывающий стенки отверстий в стене пещеры или полу. Впервые были найдены в пещерах Гваделупских гор, Нью-Мексико. Здесь гипсовые оторочки выступают на 1 м над массивными глыбами гипса на полу, которые они видоизменили. Недавно гипсовые оторочки обнаружены в Jester Cave, Оклахома. Это тонкие выступы на гипсовой коренной породе, похожие на скорлупу яиц, в диаметре до 10 см и толщиной 2 мм (S. Bozeman).

Как и карбонатные оторочки, гипсовые образуются в местах, где теплый влажный воздух выходит из небольших отверстий в большие гроты, наполненные более холодным и сухим воздухом. Теплый влажный воздух охлаждается, вода конденсируется по краю отверстия, испарение вызывает осаждение сульфатного материала из влаги. Последующий воздушный поток полирует внутреннюю поверхность оторочки, делая ее гладкой и согласной с гипсовой коренной породой или материалом, ее образующим. В отличие от карбонатных гипсовые оторочки отлагаются при испарении, а не высвобождении углекислого газа.

**Сталактиты.** Гипс, эпсомит и мирабилит образуют сталактиты. Гипсовые сталактиты состоят из крупных пористых неориентированных зерен. Обычно имеют белый цвет, но Bridgemon (1967) описал черные гипсовые сталактиты в Аризонской пещере и Schermerhorn (1959) – красновато-коричневые в Fitton Cave, Арканзас. Некоторые сульфатные сталактиты полые, с соломками в центре и радиально-лучистым строением, похожим на кальцитовые сталактиты, другие же центрального канала не имеют. Сульфатные сталактиты найдены в Венгрии, Италии, Мексике, США, СССР и Югославии.

Гипсовые сталактиты не похожи на кальцитовые. Вместо свисающих вниз с пещерных потолков похожих на морковки, гипсовые сталактиты принимают формы когтей или корней деревьев. В Calindri Cave, Emilia, Италия, и в Torgac Cave, Нью-Мексико, кончики «когтей» отклонены по направлению преобладающего воздушного потока. Гипсовые соломки недавно открыты в Cocaliere Cave, Франция. Очень тоненькие 40 см длиной, состоят из кристаллических волокон, растущих параллельно оси соломки (P.Cabrol, спец. сообщение).

В термальной пещере Satorkopusza, Венгрия, найдены большие необычные сталактиты 1 м в диаметре и 2,5 м длины. Они не конические, а цилиндрические с гроздьевидной поверхностью и полукруглыми окончаниями. Jakucs (1977) выдвинул



гипотезу их происхождения. Сначала гипсовые сталактиты формировались, как и все другие, – в субэральных условиях, но затем они были затоплены и образовались грушевидные формы и полусферические окончания. Субаквальный гипс осадился поверх первоначального морковкообразного, когда поднимающаяся термальна́я вода смешивалась с холодной метеорной.

Эпсомитовые и мирабилитовые сталактиты плотные, компактные, чистые и прозрачные. Они меньше похожи на морковку, чем гипсовые, а их волнистая поверхность больше напоминает ледяные сосульки. В Cottonwood Cave, Нью-Мексико, эпсомитовые сталактиты с мелкозубчатой поверхностью достигали длины 0,8 м и 20 см в диаметре. В Ellison Cave, Джорджия, эпсомитовые сталактиты растут на концах зубчиков гипсовых сталактитов. Прозрачные, как стекло, мирабилитовые сталактиты также растут на кончиках зубцов гипсовых сталактитов в Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки. Многие из них монокристаллические с ровными поверхностями и окончаниями, во многих вверх и вниз двигаются пузырьки жидкости, как в уровне плотника.

Сульфатные сталактиты начинают свой рост, как и карбонатные, – с соломинок, но не вырастают длинными. Сталактиты формируются из замерзающей жидкости (льда) – большого количества воды в кристаллической решетке (сульфатов) без обычной поддержки центрального канала, начало роста происходит за счет воды, стекающей вниз по боковым поверхностям (Hicks, 1950). «Когти» образуются, когда кристаллы вырастают большими и новый рост отклоняется от вертикального.

В случае гипсово-мирабилитовых сталактитов в Флинт-Мамонтовой пещере и гипсово-эпсомитовых в Ellison Cave первой фазой явилось отложение из смеси сульфатных растворов и гипса. С потерей воды состав оставшейся жидкости становился все более обогащенным магнием и сульфатом натрия, и на кончиках гипса кристаллизовались прозрачные, почти чистые сталактиты эпсомита и мирабилита (White, 1968).



Рис. 6. Гипсовые соломинки из пещеры на юге Франции. Фото П. Кабрала



**Сталагмиты.** Сульфатные сталактиты имеют дополняющие их сталагмиты. Белые до желтоватых пористые грубозернистые спелеотемы, образуемые произвольным ростом кристаллов. В Grotte de la Cigaliere в Пиренеях Франции полые сталагмиты гипса достигают 5 м высоты (Casteret, 1939). Гипсовые сталагмиты в Torgas Cave и Карлсбадской пещере, Нью-Мексико, также полые, имеют обычный облик для этого типа спелеотемов, а также гипсовые колонны. Снежно-белые колонны алебастра, блестящие, со слабоограниченными кристаллами, описаны Halliday (1950) в Soldier's Cave, Калифорния.

Наиболее интересный тип гипсовых сталагмитов встречен в Cueva del Guacharo, Венесуэла. Здесь светло-желтые гипсовые сталагмиты 4–14 см высотой покрыты пучками игл селенита, похожими на гребешки. Гребешки состоят из бесцветных кристаллов селенита 5–10 см длиной и несколько миллиметров толщиной (White, 1960). Обычно несколько дюжин кристаллов составляют пучок, которые располагаются на верхушке каждого сталагмита.

Самые большие эпсомитовые сталагмиты в Cottonwood Cave, Нью-Мексико. Длина их 1,5 м, прозрачные желтоватые там, где еще растут, и непрозрачные, где рост прекратился. В Флинт-Мамонтовой пещере, Кентукки, мирабилитовые сталагмиты не образуются под сталактитами мирабилита; скорее, это небольшое количество изолированных мирабилитовых натеков под сталактитами.

Когда сульфатные растворы капаят с пещерных стен и потолков, они испаряются и отлагаются в виде сталагмитов. Ненасыщенные растворы образуют углубления в верхушках сталагмитов, но возобновившаяся кристаллизация может впоследствии затянуть выемку; этот процесс описала Hill (1982) в Torgas Cave, Нью-Мексико.

Мечи, селенит. Селенитовые «мечи» или «пластины» – кристаллы гипса, напоминающие лопатки, достигающие иногда огромных размеров. Впервые были описаны в пещере Мечей, Naica, Мексика, где кристаллы были до 2 м длиной и 27 кг весом (Foshag, 1927). Вся пещера – сплошной коридор мечевидных кристаллов. Кристаллы длинные и узкие или короткие и широкие. Большинство образцов призматические, редко встречаются и двойники «ласточкин хвост». Во многих есть каналы, заполненные водой и перемещающимися пузырьками. Кристаллы чистые и прозрачные или серовато-коричневые благодаря включениям ила.

В других пещерах мечи менее представительные. В гипсовой пещере близ Тегерана, Иран, все ходы одно время были покрыты длинными мечевидными кристаллами, большими как рука человека, средняя ширина их была 10 см (Weir, 1960). Согласно сообщениям они были блестящими, чистыми и так тесно переплетались, что образовывали твердые массы. Кристаллы содержали включения: частицы породы, другие кристаллы и двигающиеся при наклоне пузырьки. С тех пор как открыли пещеру, мечи полностью разрушены или вынесены.

Другая находка мечей в небольшой пещере в Wayne County, Utah, где крупнейшие кристаллы были вытянуты, подобно большим балкам поперек небольших гротов пещеры. Все они были вынесены и помещены в музей. В гипсовой пещере в Неваде небольшие in-place образцы четверть метра в поперечнике (Harrington, 1933), и в Китае, в пещере на Guizhou Plateau, гипсовые мечи достигают 1,4 м высоты и 10 см в диаметре (Lin, 1981).

Образование гипсовых мечевидных кристаллов совершенно отличается от других типов сульфатных спелеотемов. Это субаквальные отложения, кристаллизующиеся непосредственно из насыщенных растворов ниже уровня воды, что аналогично формированию совершенных кубических кристаллов соли или крупных кристаллов кальцита. Пещера Мечей сформировалась при окислении сульфидных руд, впоследствии гипс кристаллизовался из пересыщенных растворов, наполнивших пещеру.

**МИНЕРАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ КАК  
ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

**По результатам минералогических исследований пещеры Попонго  
(карстовый массив Маргуарейс, Северная Италия)**

U.V. Jakova  
*Natural Sciences Institute of Perm University*

**THE MINERAL FORMATIONS FROM CAVES ARE INDICATOR OF  
CLIMATE FLUCTUATION. By the findings of minerals from Popongo cave.  
(Karstic massif Marguareis, Northern Italy)**

**Summary**

In the cave Popongo were taken complex mineral aggregates. In the all mineral aggregates clearly see alternation of the growth calcite and manganese silicate reflecting the cyclic exchange of solutions, which entered to the cave. Probable, it closely associated with the climatic changes in the region in past. Calcite crystallization associated with humid dewy climate, the appearance of manganese silicate with dry hot climate. The climatic changes are stimulated deformations of karstic massif and multiplex opening of cracks.

**Общие сведения**

Карстовый массив Маргуарейс представляет собой известняковую гряду в Приморских Альпах; гряда эта тянется вдоль франко-итальянской границы и проходит в шестидесяти километрах к северо-востоку от Ниццы, между городками Лимоне и Тенда. Пограничный хребет разделяет бассейны Средиземного и Адриатического морей. Самая высшая точка – гора Маргуарейс, 2651 м н.у.м. В пределах массива выделяется ледниковый цирк Пьеджа Белла, большая котловина, загроможденная осыпями и моренами. Здесь находится одна из интереснейших пещерных систем Каракас-Пьеджа Белла. Пещерная система имеет 17 входов на разных высотных уровнях. В котловине Пьеджа Белла расположен вход в пещеру Попонго, которая, вероятно, является частью системы.

В пещере Попонго были отобраны сложные минеральные образования: с наклонного пола – кора темного, почти черного цвета, кальцит из трещин в известняке и натечная кора, покрывающая глыбы на полу.

**Результаты и их обсуждение**

Первый образец отобран из коры темного цвета, которая покрывает наклонный пол пещеры. Мощность ее составляет 50–100 мм. Кора представляет собой сложный слоистый минеральный агрегат, поверхность, которого напоминает микрогуры (рис. 1).

В основании агрегата – параллельно-шестоватые прозрачные кристаллы кальцита размером от 0,01 до 0,1 мм, расположенные вертикально к основанию.

Поверхность агрегата состоит из изогнутых волнистых кулисоподобных гребней, ориентированных перпендикулярно ходу (рис. 2, 3). Уклон гребешков относительно поверхности их основания 45°, высота до 1 см. В поперечном разрезе образца достаточно четко переслаиваются параллельно-шестоватые агрегаты кальцита, сменяющиеся колломорфными агрегатами бурого вещества (рис. 4). Поверхность прослоя бурого вещества почковидная, структура землистая, текстура пористая.

Мощность прослоев кальцита составляет 1–7 мм, силиката марганца 1–5 мм. Для последнего характерна высокая пористость (рис. 4, 5), связанная, вероятно, с дегидратацией. Каждый слой представляет собой шетку с неровной зубчатой поверхностью, что указывает на кристаллизацию вещества в свободном пространстве

полости. Параллельно-шестоватые кристаллы, вытянутые перпендикулярно подложке, указывают, что на этапе их роста проявлялся геометрический отбор.

Прослои силиката марганца представляются связанными с поступлением вязкого коллоидного раствора в результате смены геохимических условий. Наличие пор, каверн связано с дегидратацией, на что указывает и глобулярная микроструктура силиката. При очередной смене условий и поступлении растворов, благоприятных для роста кальцитовых кристаллов, возобновлялся их рост от кальцитового основания. Дендриты силиката марганца обрастали кальцитом и локализовались в виде темных прослоев с четкими контурами.



Рис. 1. Сложный минеральный агрегат, напоминающий микрогуры.  
Фото М. Винья



Рис. 2. Кулисоподобные гребни, ориентированные перпендикулярно ходу пещеры

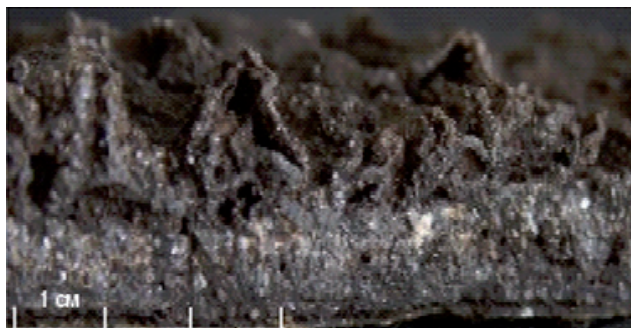


Рис. 3. Поперечный срез минерального агрегата, кулисоподобные гребни. Прослойки кальцита и силиката марганца



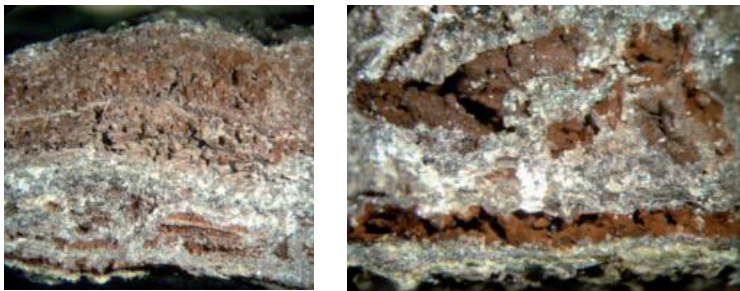


Рис. 4. Поперечный разрез агрегата, переслаивание кальцита и силиката марганца

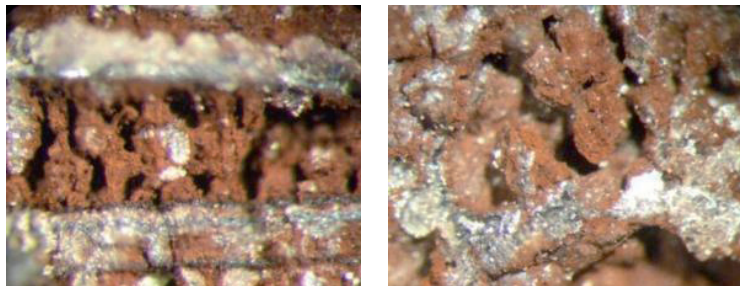


Рис. 5. Прослои, выполненные марганцевым минералом, содержат большой объем пор, что свидетельствует о дегидратации. Фото под бинокулярным микроскопом, увеличение в 10 раз



Рис. 6. Радиально-лучистые дендриты силиката Mn в кристаллах кальцита (поперечный срез агрегата). Фото шлифа под поляризационным микроскопом, увеличение в 100 раз

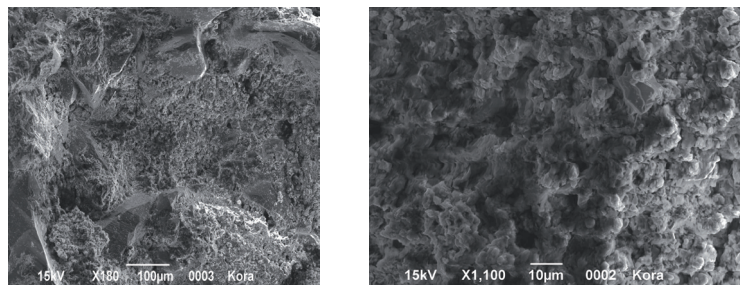


Рис. 7. Глобулярная микроструктура силиката марганца и прорастающие кристаллы кальцита. Сканирующий электронный микроскоп S-3400N с приставками: EDS, WDS и EBSD.

В прозрачных шлифах (рис. 6) можно видеть радиально-лучистые дендритовидные агрегаты силиката марганца в кристаллах кальцита. Дендриты располагаются достаточно плотно, веерообразно расходясь от основания. Радиальное их расположение объясняется проявлением геометрического отбора на стадии их роста.

На микрофотографиях (рис. 6) поверхности прослоя силиката марганца хорошо просматривается глобулярная микроструктура. По мнению некоторых исследователей, такие структуры возникают при сокращении объема вещества в результате дегидратации. Кристаллы кальцита, возможно, прорастали в массе силиката марганца.

Согласно микрозондовому, термическому и рентгеноструктурному анализам вещество представляет собой безводный силикат марганца с примесями магния, алюминия, железа и кальция (табл. 1). Расчетная формула силиката марганца  $(Mg_{0,14}Al_{0,17}Ca_{0,15}Mn_{0,34}Fe_{0,22})Si_{0,92}O_3$

Таблица 1

Химический состав силиката марганца, мас. %

№ образца	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	O	Сумма
1	2,05	12,66	20,67	3,68	3,23	0,31	8,87	5,86	42,67	100
2	2,84	15,51	25,05	2,16	6,24	0,0	0,56	0,27	47,38	100

Аналитик К.П. Казымов. Сканирующий электронный микроскоп S-3400N с приставками: EDS, WDS и EBSD

Термическое исследование агрегата, проведенное на термоанализаторе STA 409 PC LUX фирмы «Netzsth» показал, что карбонат в этих агрегатах представлен кальцитом. Динамический нагрев проводился со скоростью 10 °С/сек до температуры 1100 °С в атмосфере аргона. Этот образец характеризуется отсутствием воды. Четкий эндотермический эффект на кривой ДСК с пиком 839 °С, указывает на процесс диссоциации кальцита с образованием CaO и CO<sub>2</sub>, который сопровождается потерей массы (40 %), что и отображает кривая TG (рис. 8).

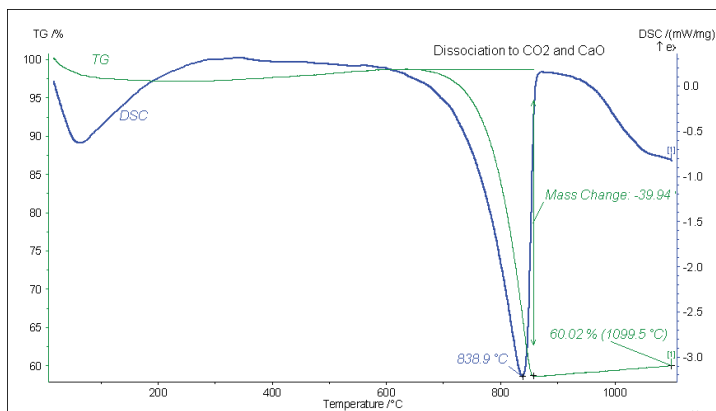


Рис. 8. Термическая кривая минерального агрегата из пещеры Попонго

Силикат марганца, входящий в состав минерального ансамбля, термоинертен.

Рентгенофазовый анализ проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном медном излучении в области брэгговских углов 4–70 град. со скоростью 1 град/мин. Как видно из дифрактограммы (рис. 8), все вещества, кроме кальцита – на уровне фона или рентгеноаморфны.

Второй образец был взят из наклонной, параллельной полу трещины (ширина 12–15 мм) под потолком (рис. 10). Он представляет собой параллельно-шестоватый агрегат, состоящий из кристаллов кальцита, росших на ровном основании и заполняющих трещину в темно-сером мраморизованном известняке. Индивиды имеют тригональную, дитригональную, длиннопризматическую форму (длина 5–7 мм, толщина 0,3–0,5 мм).



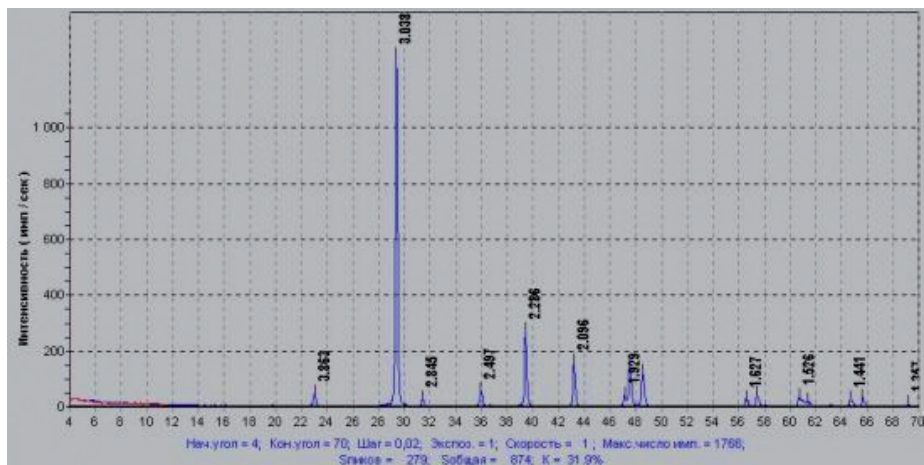


Рис. 9. Дифрактограмма минерального агрегата

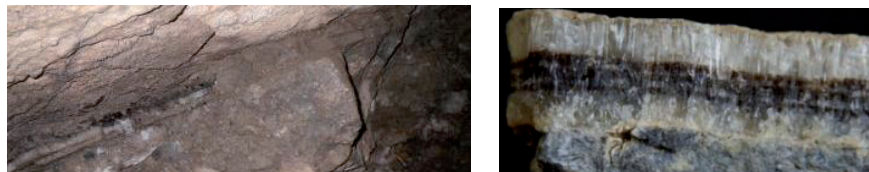


Рис. 10. Минеральный агрегат, заполняющий наклонную трещину в мраморизованном известняке

Такое расположение свидетельствует о проявлении геометрического отбора в процессе роста при поступлении в раскрывающуюся трещину гидрокарбонатно-кальциевых растворов.

В агрегате видны зоны роста с плоскопараллельной поверхностью, связанной с периодическим приоткрыванием трещин. Отмечены также зоны (3 прослоя мощностью 1–1,5 мм каждый), насыщенные скоплениями дендритов и сгустков неправильной формы бурого вещества (рис. 11). Химический, термический и рентгеноструктурный анализы показали состав, идентичный бурым прослоям колломорфного вещества, описанным в первом образце, соответствующий силикату марганца с примесями железа, алюминия, кальция и магния.

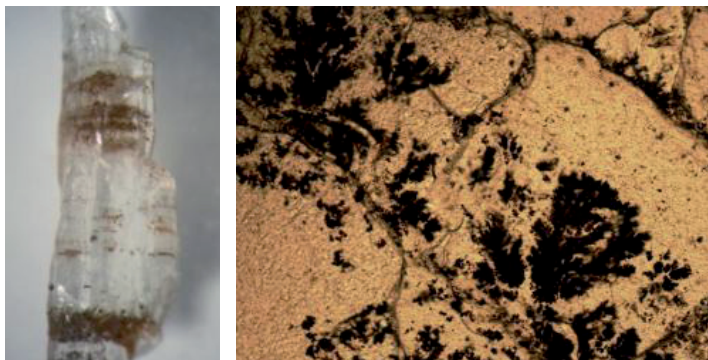


Рис. 11. Ритмичное переслаивание силиката марганца в кальците: а) фото через бинокулярный микроскоп, увеличение в 10 раз; б) фото полированного шлифа в скрещенных николях, увеличение в 100 раз

Прослой силиката марганца имеют зональность, указывающую на поступление в систему иных, вероятно, кислых вязких гелеобразных растворов. Затем условия менялись и рост кальцита возобновлялся. В образце прослеживается ритмичное переслаивание, свидетельствующее, возможно, о пульсационном поступлении растворов.

В качестве третьего образца была взят сложный минеральный агрегат, покрывающий пол и лежащие на нем глыбы (рис. 12). Он характеризуется зональным строением. Структура разнотекстурированная, размер зерен изменяется от 0,01 мм до 7–12 мм.



Рис. 12. Минеральный агрегат, покрывающий глыбы на полу пещеры

Текстура слоистая, неявно выраженная, в основной массе плотная, зонами пористо-кавернозная (размеры пустот изменяются от 1–2 мм до 15 мм). В пустотах каверн наблюдается скопление шестоватых кристаллов кальцита, расположенных перпендикулярно стенкам каверн.

В верхней части агрегата кристаллы более крупные. Мелкокристаллический слой сменяется слоем мощностью 25 мм, состоящим из шестоватых (иглочатых) кристаллов прозрачного бесцветного кальцита. Длина кристаллов 5–7 мм, толщина 0,3–0,5 мм. Кристаллы имеют форму тригональных, дитригональных удлинённых призм, плотно прилегающих друг к другу. На поверхности описываемого слоя отмечается тончайший, мощностью до 0,1 мм слой белого мучнистого кальцита.

Верхний слой натечной коры мощностью от 5–6 мм до 10–16 мм представлен крупнокристаллическим кальцитом, прозрачным, бесцветным, кристаллы которого ориентированы перпендикулярно поверхности слоистости.

В агрегате, как и в двух предыдущих образцах, отмечаются прослой бурого, в некоторых слоях почти черного вещества мощностью 0,5–1 мм (рис. 13). Прослой имеют четкие границы. Химический состав, так же, как и в вышеописанных образцах, соответствует силикату марганца.

Поступление коллоидных растворов и нарастание дендритов происходило на плоскую поверхность агрегатов кальцита, что хорошо видно в шлифах (рис. 15). Ровная поверхность кальцитового агрегата указывает на кристаллизацию из пленочных растворов.



Рис. 13. Прослой силиката марганца в кальцитовой коре

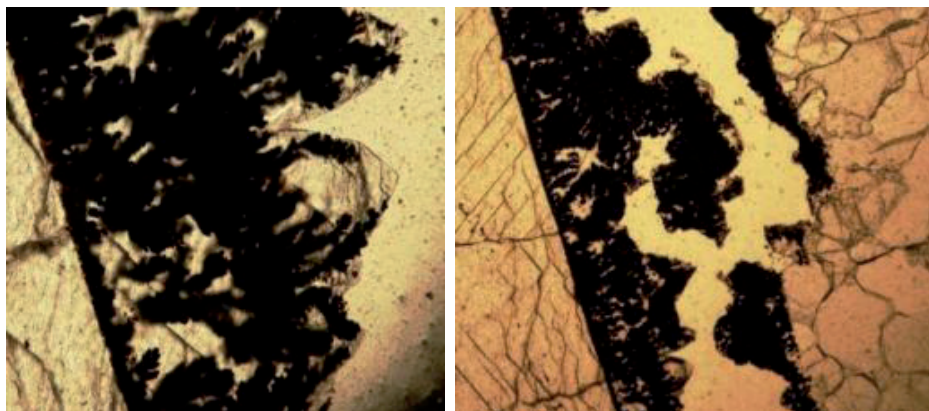


Рис. 14. Дендриты силиката марганца в кристаллах кальцита. Фото шлифа под поляризационным микроскопом, увеличение в 100 раз

Дендриты силиката марганца располагаются плотно и имеют достаточно четкие границы (рис. 14). Кристаллы кальцита, прорастающие и заполняющие свободное пространство между дендритами, указывают на очередную смену физико-химических условий минералообразования.

#### **Выводы**

Чередование во всех агрегатах роста кальцита и силиката марганца отражает периодическую смену поступающих в пещеру растворов. Вероятно, они связаны со сменой климата в районе. Предполагается, что кальцит связан с умеренным влажным климатом, а силикаты марганца – с жарким сухим. Смена климата способствовала деформациям карстующегося массива и многократного приоткрывания трещин.

В дальнейшем планируется провести геолого-структурный анализ пещерного поля и детальные исследования закономерностей роста и строения минеральных агрегатов в различных частях пещеры. Выявить стадии минералообразования и их взаимосвязь с климатическими условиями и характером осадконакопления за определенный промежуток времени (сочетание климата, рельефа, геотектонического режима).

Автор выражает особую признательность за помощь в выполнении аналитической работы И.И. Чайковскому (Горный институт УрО РАН) и К. П. Казымову (Пермский государственный университет), а также благодарит за содействие в сборе материала спелеологов итальянской спелеологической ассоциации, особенно президента ассоциации географических исследований Италии «La Venta» Джованни Бадино.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М.: Изд-во Наука, 1975.
2. Чухров Ф. В., Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, Москва, 1955.3.
- Вернадский В.И., Курбатов С.М. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги. М., 1937.
4. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М.: Изд-во Недра, 1965.
5. Станкеев Е.А. Генетическая минералогия, 1986.
6. Лукашев К.И. Очерки по геохимии гипергенеза, 1963

<sup>1</sup>Н. Г. Максимович, <sup>2</sup>С. С. Потапов, <sup>1</sup>О. Ю. Мещерякова  
<sup>1</sup>Естественнoнаучный институт Пермского государственного  
университета, <sup>2</sup>Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

## НАТЕЧНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ

<sup>1</sup>N. G. Maksimovich, <sup>2</sup>S. S. Potapov, <sup>1</sup>O. Yu. Meshcheryakova  
<sup>1</sup>Institute of Natural Sciences of Perm State University, Perm  
<sup>2</sup>The Institute of Mineralogy of Ural Branch the Russian Academy of  
Scences, Miass

### THE TECNOGENIC SPELEOTHEMS

#### Summary

The features of speleothem formation in artificial underground spaces and on various constructions are considered in this article.

Натечные образования широко развиты в карбонатных карстовых пещерах, где имеют самые разнообразные формы и создают уникальные подземные ландшафты. Эти образования достаточно хорошо изучены. В последние годы значительный интерес стал проявляться к их техногенным аналогам – натечным образованиям в искусственных подземных пространствах или на наземных сооружениях.

Под спелеотемами (speleothems) в иностранной литературе понимаются вторичные минеральные отложения, образующиеся в пещерах в результате капежа воды, что в отечественных публикациях называют собирательным термином «натечные образования», к которым относят сталактиты, сталагмиты, колонны, драпировки и т.д. Изучением классических пещерных сталактитов в середине 50-х гг. XX в. занимался профессор Пермского государственного университета П. Н. Чирвинский [13, 14]. Десятком лет позже генетическую классификацию натечных пещерных образований [7] разработал Г. А. Максимович [3].

Условия капежа воды, способствующие образованию натечных минеральных форм, реализуются не только в пещерах. Сталактиты известны и в искусственных сооружениях из бетона или цементированных строительных материалов. Это потеряны плотин, мосты, стены сооружений и др.

Одно из первых описаний натечных форм в искусственных сооружениях было сделано Фабретти в 1690 г. Он описал большие, оранжево-коричневые натечные образования, которые выросли в центральной части тоннеля (озеро Фусино, Италия) [16].

В России 1888 г. Н. Карножицкий описал сталактиты на своде Рюриковской крепости в Старой Ладоге. А Е. Ферсман сообщал, что в дворцовых подвалах Петродворца за 10 лет выросли белоснежные сталактиты длиной до 1 м. Известковые сталактиты ежегодно вырастали под Кировским мостом в Санкт-Петербург [12]. Сталактиты обнаружены в подвале Парижского вокзала, а сталактитоподобные образования – в Вене, на крыше парламента, на памятнике Моцарту и на других объектах (табл. 1).

Ранее в сборнике «Пещеры» приводилось детальное описание техногенных сталактитов, сталагмитов и натечных кор в подвале Московского государственного университета [9]. В дополнение приведем краткие данные о сталактитах в двух подвалах Чешской Липы (ЧССР), вырытых в верхнемеловых песчаниках. В первом подвале, находящемся под домом на глубине 7 м, в 1967 г. на потолке обнаружено около 200 сталактитов, многие из которых имели длину 30 см. В другом подвале найден сталактит, длина которого в 1945 г. была 70 см, а в 1966 г. достигла 150 см, т.е. скорость роста составила около 40 мм в год. Сталактиты в виде брчков и брчков с утолщениями гулек состоят главным образом из лимонита и частично кальцита. Диаметр брчков – 3–5 мм, а толщина стенок – 0,5 мм. Состалактитов капает вода –

от 3 до 12 капель в минуту. На полу под сталактитами образовалась тонкая корка натечного лимонита [16].

Таблица 1

Натечные техногенные образования в различных сооружениях, рудниках и шахтах

Сооружения	Сталактиты, длина, см	Сталагмиты, высота, см	Карбонатная кора на стенах и потолках
<b>Крепости</b>			
Юриковская, Старая Ладога	+		
Шлиссельбургская	+		
<b>Мосты</b>			
Кировский, Санкт-Петербург [12]	+		
Железнодорожный, с. Усть-Кишерть, Пермский край	4,5		+
Автомобильный через р. Нерль (Ярославская область) [5]	12–15		
ул. Малышева (Екатеринбург)	+		
ул. Куйбышева (Екатеринбург)	+		
ул. Декабристов (Екатеринбург)	+		
ул. Ленина (плотина, Екатеринбург)	25–30		
Железнодорожный, проспект Уши, Лозанна, Швейцария	12		+
Автомобильный, в районе вокзала Золотурна, Швейцария	5		+
Автомобильный, ул. Бошерекс, Монтре, Швейцария	10	5	+
<b>Подвалы</b>			
Дворец, Петродворец [12]	100		
Подземелье, Екатеринбург	+		
Московский гос. университет [9]	40,5	20	+
Вокзал, Париж	+		+
<b>Подземные переходы</b>			
Эгль, вокзал, Швейцария	2-3		+
Ла Неввиль, вокзал, Швейцария	10	2	+
Шпиц, вокзал, Швейцария	5	2	+
<b>Тоннели</b>			
Тоннель, озеро Фусино, Италия [15]			+
Тоннель, Постония, Словения [15]	50		
Тоннель, Крым	15		
Тоннель, Венесуэла [15]	+		
Главный разгрузочный канализационный коллектор г. Перми	40		+
Нефтепроводный тоннель на юге России [1]	до 50		
<b>Плотины</b>			
Потерна Камской ГЭС	3–4 (1976 г.) до 10 (2003 г.)		+
Потерна Павловской ГЭС	3–4		
Плотина на р. Б. Сатка [11]			+
<b>Здания</b>			
Потолок бани, Екатеринбург	+		
Потолки обогатительных фабрик ОАО «Апатит» [2]	10		
Своды Крестовоздвиженского храма (Пермский край) [10]	14		
Своды Урбинского замка, Италия [15]	+		
Крыша парламента, Вена	+		
Балкон жилого дома около станции фуникулера, Лугано, Швейцария	10		+



<b>Памятники</b>			
Мемориал Линкольна, Форт Пиккенс, США [15]			+
Памятник Моцарту, Вена	+		
<b>Прочие сооружения</b>			
Серпентинитовая облицовка главных ворот в Центральный ботанический сад со стороны ул. 8-е Марта, Екатеринбург			+
Подпорная стенка, авеню Шийон, Монтре, Швейцария	12		+
Опоры крыши, район госпиталя, Берн, Швейцария			+
<b>Рудники и шахты</b>			
БКРУ-1 и БКРУ-4 Верхнекамского месторождения калийных солей	до 100 и более		
Рудные шахты, США [15]	+		
Учалинский колчеданно-полиметаллический рудник	70		
Камско-Устьинский гипсовый рудник	1-2		

Нами обнаружены и описаны сталактиты, образовавшиеся при просачивании воды на сводчатой кровле Крестовоздвиженского храма [10]. Известны сталактиты с полым центральным каналом и с заполненным. В образцах сталактитов Крестовоздвиженского собора центральные каналы хоть и сквозные, но в различной степени заросшие минеральным веществом, причем отчетливо наблюдается тенденция уменьшения сечения канала к низу сталактита. В некоторых местах средней части сталактитов канал бывает почти полностью заросшим, но ниже места зарастания канал снова становится зияющим. На стенках каналов образуются белоснежные ажурные агрегаты скелетных кристаллов кальцита. Нередко центром кристаллизации внутри канала в сталактите являются ворсинки, ниточки, которые, обрастая кальцитом, превращаются в причудливые минеральные гирлянды. Сталактиты Крестовоздвиженского соборного храма являются классическими трубчатыми мономинеральными кальцитовыми сталактитами, которые, несмотря на, видимо, слабую минерализацию просачивающихся вод, росли довольно быстро, со скоростью 1,6–2,0 мм/год, хотя такая скорость роста на порядок ниже скорости образования сталактитов в подвале Московского государственного университета. Как отмечает А. А. Каздым с соавторами [5], интерес вызывает решение вопроса генезиса натечных форм карбоната кальция (сталактитов и сталагмитов), которые образуются при выщелачивании, растворении различных искусственных или природных строительных материалов – цемента, бетона, известняка. Были изучены кальцитовые сталактиты, сформировавшиеся на бетонных плитах покрытия моста через р. Нерль, в 30 км к северо-востоку от г. Переславль-Залесский в Ярославской области. Натечные образования представлены несколькими формами в основном каплевидного и сталактитовидного облика (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид сталактитов на нижней поверхности бетонных конструкций моста через р. Нерль: слева – сталактиты белого цвета, справа – ожелезненные сталактиты желтого цвета

Цвет сталактитов белый, светло-серый, в ряде случаев – желтый, светло-коричневый. Цвет зависит от насыщения растворов гидроксидами железа, образующимися при коррозии арматуры бетонных перекрытий моста под действием просачивающихся вод атмосферных осадков. Сталактиты представлены трубчатыми образованиями размером до 12–15 см и средним диаметром около 0,5–0,7 см. В месте крепления диаметр увеличивается до 2–3 см. Внутренний канал сталактитовых трубок не имеет идеально гладкой поверхности: отмечены хорошо выраженные дендритовидные микрокристаллы размером до 1–2 мм, подобные отмеченным нами ранее в сталактитах Крестовоздвиженского храма [10]. В отдельных образцах внутренняя полость полностью заполнена микрокристаллами. Кроме того, для отдельных образцов были выявлены нитевидные и волокнистые («волосовидные») образования. Если мы предполагали, что центром кристаллизации внутри канала в сталактите являлись ворсинки, ниточки, обрастание которых кальцитом приводило к образованию причудливых кальцитовых гирлянд, то А. А. Каздым допускает обрастание кальцитом гифа гриба или водоросли (рис. 2).

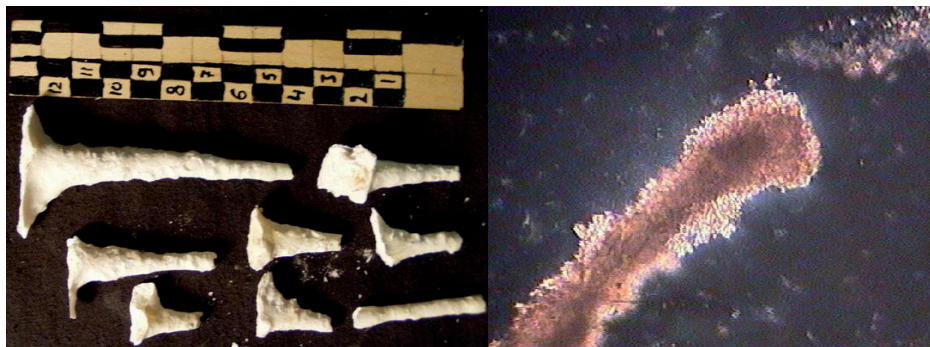


Рис. 2. Сталактиты с моста через р. Нерль, их морфология и размер, справа – шлиф, «волосовидный» агрегат, вероятно, произошло обрастание кальцитом гифа гриба или водоросли, прозрачный шлиф (николи X, размер изображения 1х1 мм).

При изучении техногенных сталактитов сфеновой и ловчорритовой обогатительных фабрик на Кольском полуострове Ю. Л. Войтеховским с соавторами [2] на внутренних поверхностях сталактитов обнаружены тончайшие нитевидные образования, диагностировать которые пока не удалось.

В изломе сталактитов с моста на р. Нерль хорошо заметно концентрически-слоистое сложение. Отмечено до 5 слоев, разделенных между собой полостями, или (в ряде случаев) до 10 слоев, достаточно плотно прилегающих друг к другу. Вероятно, посчитав концентры, можно приблизительно вычислить возраст сталактитов, учитывая тот факт, что в зимнее время их образование маловероятно, – в большинстве случаев можно отметить от 4 до 5 слоев кальцита, т.е. возраст сталактитов составляет около 5 лет. Рентгенофазовым анализом установлено, что сталактиты сложены кальцитом.

Такой же состав имеют и сталактиты с потолка заброшенных сфеновой и ловчорритовой обогатительных фабрик [2]. Химическим анализом в кальцитовых сталактитах установлены (вес. %):  $\text{CaO}$  – 54,98;  $\text{CO}_2$  – 42,70;  $\text{SrO}$  – 0,78;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,14;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  – 0,10;  $\text{MgO}$  – 0,06;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,045; п.п.п. – 0,70;  $\text{H}_2\text{O}^-$  – 0,14;  $\text{SiO}_2 < 0,10$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,10$ ;  $\text{TiO}_2 < 0,05$  (аналитик Л. И. Константинова, ГИ КНЦ РАН). Все химические элементы заимствованы из бетонных стен и перекрытий. Длина сталактитов достигает 10 см при диаметре у основания до 1 см (рис. 3).

Цвет – светло-серый, иногда бурый благодаря неравномерному поверхностному ожелезнению. Форма – типичная, сталактиты полые практически на всю длину. Стенки толщиной 1–4 мм имеют скорлуповатое строение, плотные слои чередуются с рыхлыми.

Наблюдения авторов подтверждают мнение известного спелеолога В. А. Мальцева о внешнем питании трубчатых кальцитовых сталактитов. Любопытно, что внутри них в то же время происходит иной процесс. Их внутренняя поверхность приотливно изрезана, что вызвано периодическим растворением атмосферной влагой или друзовым ростом, или тем и другим вместе. В ядерных частях друз наблюдается перекристаллизация с укрупнением зерна. При формировании природных кальцитовых сталактитов источниками вещества обычно являются известняки. В случае образования техногенных сталактитов таковыми являются строительные материалы стен и перекрытий – цемент, бетон, известь.

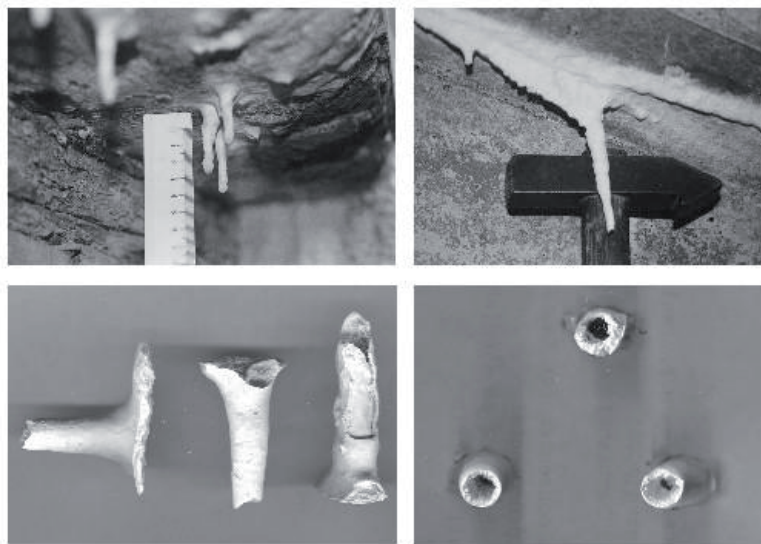


Рис. 3. Техногенные кальцитовые сталактиты с потолка заброшенных сфеновой и ловчорритовой обогатительной фабрик на Кольском полуострове

Ю. Л. Войтеховский считает, что оценка скорости роста кристаллов кальцита в техногенных сталактитах – нетривиальная задача. Он пишет: «Очевидно, следует различать скорости их радиального роста в плотных слоях и свободного друзового – во внутреннем пространстве. Общая длина сталактитов не имеет отношения к интересующим нас скоростям роста, так как в большей мере характеризует интенсивность подачи карбоната Са в систему просачивающимися растворами. Принимая максимальную толщину стенки сталактита 4 мм и время его образования 40 лет (исходя из истории ловчорритовой и сфеновой обогатительных фабрик), получаем приблизительную скорость роста кристаллов кальцита 0,1 мм/год».

В тоннеле и на бетонном мосту в г. Постойна (Словения), построенных в 1925 г., обнаружены сталактиты длиной 50 см, выросшие в течение 31 года [15]. Со временем подобные натечные формы могут подвергаться дальнейшей эволюции или морфологическим видоизменениям. Примером этого могут служить натечные образования на сводах Урбинского замка (центральная Италия). Натечные формы отмечались на Мемориале Линкольна, Форт Пиккенс и др. [15].

В. А. Наумовым в 2003 г. во время экскурсии обнаружены и отобраны сталактиты, коры и наросты (рис. 4), образовавшиеся близ трещин дренажной потерне Камской ГЭС. Сталактиты трубчатые с несколько смещенным от центра каналом диаметром 1–2 мм, удлинённые на 7–10 см при средней ширине (диаметре) 0,5–0,7 мм. Сталактиты светловато-серого и желтовато-белого цвета, коры и наросты – белые на свежем сколе и сероватые (запыленные) с поверхности.

И сталактиты, и коры, и наросты Камской ГЭС мономинеральны и состоят из кальцита, как и большинство природных натечных образований в пещерах (табл. 2).

Таблица 2

Рентгенограммы вещества сталактитов и эталонного кальцита

Кама-1*			Нерль-1**		Кальцит (Васильев, 1980, карта 9)		
№ п/п	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	hkl
1	3.863	8	3.83	1	3.853	2	102
2	3.038	100	3.03	10	3.036	10	104
3	2.849	1	—	—	2.846	1	006
4	2.496	12	2.43	2	2.497	4	110
5	2.287	18	—	2	2.287	6	113
6	2.095	16	2.090	2	2.095	5	202
7	1.914	18	1.910	2	1.913	8	108
8	1.876	18	1.870	2	1.877	8	116
9	1.626	2	1.626	1	1.626	3	211
10	1.606	8	1.608	2	1.604	6	212
11	1.524	2	1.521	1	1.526	4	214
12	1.473	1	—	—	1.474	3	215
13	1.441	3	—	—	1.441	6	300

Примечание: \* – сталактит из дренажной потерны Камской ГЭС. Дифрактометр ДРОН-2,0,  $\text{CuK}\alpha$ -излучение. Оператор Т.М. Рябухина. \*\* – сталактит с моста через р. Нерль. Дифрактометр ДРОН-3,0,  $\text{CuK}\alpha$ -излучение, монохроматор, шаг  $1^\circ/\text{мин.}$ , 35 кВ, 25 мА

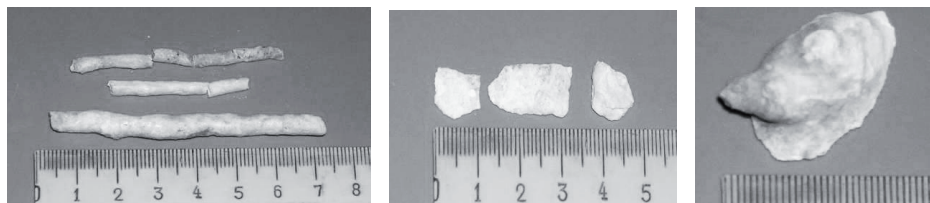


Рис. 4. Натечные техногенные образования в потерне Камской ГЭС: а – трубчатые сталактиты и их фрагменты, б – обломки натечных кор, в – сталактит неправильной формы

Натечные образования достаточно часто встречаются на бетонных конструкциях в Швейцарии. В переходах под железной дорогой на станциях Ла Неввиль, Эгль, Шпиц и др., на сводах и стенках тоннелей отмечаются сталактиты, длиной до 10 см и карбонатные натечные коры, часто существенно ожеженные (рис. 5). В Ла Неввиле, Шпице на полу переходов образовались овальные в плане сталагмиты размером 8 x 20 см, высотой до 2 см.

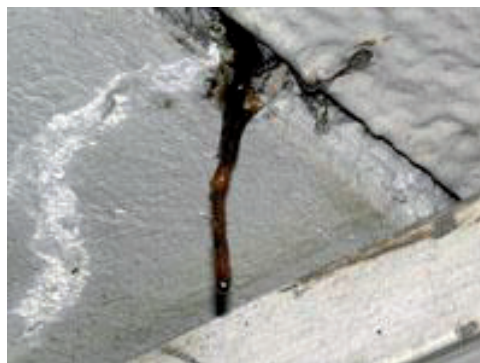


Рис. 5. Ожеженные сталактиты длиной около 10 см в переходе под железной дорогой в Ла Неввиле (Швейцария)



Под бетонными мостами в Лозанне, Монтре, Золотурне сталактиты и коры многочисленны. В Гильоне (район Монтре) натечные коры покрывают примерно половину поверхности арочного моста на улице Бошерекс (рис. 6). На асфальте и на крышке канализационного люка отмечаются сталагмиты высотой до 5 см (рис. 7).

На подпорной стенке вдоль авеню Шийон в районе замка Шийон среди многочисленных сталактитов встречены небольшие сталагматы, образовавшиеся вследствие неровности кладки (рис. 8).

В Лугано на одной из станций фуникулера сталактиты и коры, образовавшиеся под балконом, приобрели изумрудно-зеленый цвет, очевидно, за счет меди, используемой в металлических строительных конструкциях (рис. 9).

В Берне натечные коры отмечены на бетонных опорах, поддерживающих крышу в районе госпиталя (рис. 10).

Сталактиты длиной до 40 см, натечные коры обнаружены О.Л. Есюниным в строящемся главном разгрузочном канализационном коллекторе г. Перми. Они в основном приурочены к стыкам тубинговые колец (рис. 11).



Рис. 6. Натечная кора на мосту в Монтре, Швейцария



Рис. 7. Сталагмиты высотой до 5 см под мостом в Монтре, Швейцария



Рис. 8. Сталагматы на подпорной стенке в районе замка Шийон, Монтре, Швейцария



Рис. 9. Сталактиты под балконом в Лугано, Швейцария



Рис. 10. Натечная кора на бетонной опоре в Берне



Рис. 11. Сталактиты в главном разгрузочном канализационном коллекторе г. Перми (фото О. Л. Есюнина)



С. Н. Ветров, С. В. Яковлев [1] отмечают многочисленные сталактиты на своде нефтепроводного тоннеля на юге России, сооруженного в 1965-1967 гг. Наибольшее их скопление наблюдается на стыках между блоками. Отмечается, что сталактиты достигают 50 см за период немногим более года. Такой быстрый рост сталактитов авторы связывают со специфическими условиями в тоннеле – постоянной температурой и непрерывным воздушным потоком, создаваемым вентиляционными установками.

Интересные сталактиты образовались на железных конструкциях в Камско-Устьинском гипсовом руднике. Здесь на отдельных участках происходит фильтрация из верхней водоносной толщи. Сталактиты по размеру и форме напоминают зубы млекопитающих (рис. 12).



Рис. 12. Сталактиты на железных конструкциях в Камско-Устьинском гипсовом руднике

Личные наблюдения авторов и обзор литературы показывает, что в основном встречаются мономинеральные кальцитовые натечные образования. Г. А. Максимович называл процесс их образования карбонатным спелеолитолизом [7]. Вместе с тем сталактиты, как и другие натечные образования пещер, могут быть сложены другими минеральными видами, например гипсом, галитом и другими минералами. В одной из вскрытых полостей на Бакальском железорудном руднике (устное сообщение И. А. Лаврова).

В техногенных условиях, как и в природных, реализуются условия и для формирования разнообразных по минеральному составу натечных образований. Г. А. Максимович и Г. В. Бельтюков [8] описали соляные натечные образования горных выработок. Во время экспедиционных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей в 1990 г. нами в одной из горных выработок рудника были обнаружены метровые соляные сталактиты, которые сейчас экспонируются в зале минеральных месторождений Ильменского государственного заповедника вместе с другими соляными и натечными образованиями. В 1996 г. на 2-й Восточной панели Березниковского калийного рудника № 1 того же месторождения С. Н. Шанина наблюдала многочисленные соляные сталактиты. Часть образцов ею была отобрана, и в настоящее время они экспонируются в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН в г. Сыктывкаре.

Особой редкостью являются гидратированные сульфатно-железистые сталактиты. В феврале 2004 г. А. Белоусова, выпускница геологического факультета Миасского филиала ЮУрГУ, передала в музей Ильменского государственного заповедника мономинеральный голубовато-зеленый длиной 70 см и диаметром

8–9 см мелантеритовый сталактит из Учалинского медно-колчеданного рудника на Южном Урале. К сожалению, эта красота не вечна, – даже при бережном хранении мелантерит дегидратируется и замещается сначала четырехводным сульфатом железа – роценитом, а затем – одноводным – ссомольнокитом. На сталактите появляются рыжие потеки и белесые новообразования. Следует обратить внимание на то, что соляные (галитовые) и мелантеритовые сталактиты не имеют центрального канала. По-видимому, механизм их роста принципиально другой, нежели карбонатных (в общем случае – кальцитовых) сталактитов. Допустимо, что в техногенных условиях, например на горелых угольных отвалах при подземных пожарах на угольных шахтах, могут образовываться совсем редкие натечные образования, сложенные, например, аммониевыми минералами – нашатырем и/или масканьитом.

Перечисленными и описанными примерами техногенных сталактитов не исчерпываются все условия и объекты, где они могут образовываться. Так, А. А. Каздым наблюдал кальцитовые новообразования в виде каплевидных натечков и сталактитов в подвалах старых зданий (постройки XVIII–XIX вв.), а также после строительства дорожных покрытий (при строительстве МКАД были отмечены карбонатные новообразованные структуры типа cone-in-cone). К сожалению, по ряду причин не было возможности отбора образцов для их изучения. Известны новообразования сталактитов в подвалах Эрмитажа и старого здания Московского университета (на Моховой улице). Кальцитовые натечные новообразования в виде покровных натечков и небольших сталактитов (до нескольких сантиметров) также отмечались в старых каменоломнях по добыче известняка под Москвой («Сьяновские каменоломни» и близ ст. Силикатная), а также в Тульской области около пос. Метростроевский в 30 км от г. Венев («Бякинские каменоломни»).

Исследование различных техногенных новообразований представляет определенный интерес не только с точки зрения их экзотичности, но и в связи с возможностью определения скорости природных процессов минералообразования, а в ряде случаев и их физико-химических параметров и решения ряда генетических проблем. Сравнение техногенных минералов и минеральных новообразований с подобными природными формами может помочь в реконструкции и моделировании определенных природных процессов.

Отметим также, что при образовании натечков происходит вынос вещества как из самих строительных конструкций, так и из цементирующих их материалов. В случае фильтрации воды через бетон происходит коррозия по первому виду [6]. Исследования, выполненные в подземном пространстве Санкт-Петербурга, показали, что подобные процессы, идущие с образованием сталактитов и высолов, в том числе с участием микроорганизмов, ведут к разрушению строительных конструкций [4]. Очевидно, этот процесс приводит к изменению прочностных характеристик строительных материалов со всеми вытекающими последствиями. Однако этот вопрос, насколько известно авторам, детально никем не изучался.

С прикладной точки зрения появление сталактитов и других натечных форм в зданиях и сооружениях может являться индикатором, показывающим наличие неблагоприятных процессов в строительных конструкциях.

Авторы благодарны Ю. Л. Войтеховскому (Институт геологии Кольского НЦ РАН, г. Апатиты) и С. Н. Шаниной (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар), О. Л. Есюнину (ОАО «ВерхнекамГИСИЗ», г. Пермь), В. А. Наумову (ЕНИ ПГУ, г. Пермь), А. А. Каздыму (ФГУП ВИМС, г. Москва) за любезное предоставление фотографий и образцов кальцитовых и соляных сталактитов, А. В. Денисову (ЕНИ ПГУ, г. Пермь) за информационное обеспечение, В. С. Любимовой (Естественнонаучный музей Ильменского государственного заповедника, г. Миасс) за возможность работать с образцами из музея и помощь в проведении фотосъемки, а также Н. В. Паршиной и Т. М. Рябухиной (Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс) за техническую помощь при оформлении работы и съемку рентгенограмм сталактитов.

Работа подготовлена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 п.урал.а «Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты

окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветров С. Н., Яковлев С. В. Специфика обследования состояния железобетонных конструкций в условиях агрессивного воздействия воды // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7. С. 35–40.
2. Войтеховский Ю. Л., Красоткин И. С., Лесков А. Л. Техногенные сталактиты ловчорритовой и сфеновой обогатительных фабрик горно-химического треста «Апатит» // Минералогия во всем пространстве сего слова. Ч. I. Труды I Ферсмановской научной сессии Кольского отделения Рос. минералогического общества, посвященной 120-летию со дня рождения А. Е. Ферсмана и А. Н. Лабунцова / под ред. Ю. Л. Войтеховского. Апатиты: К & М, 2004. С. 95–98.
3. Георгий Алексеевич Максимович: [Научное издание] / авт.-сост. Е. Г. Максимович, Н. Г. Максимович, В. Н. Катаев. Пермь: Курсив, 2004. 512 с.
4. Дашко Р. Э., Котюков П. В. Исследование биоагрессивности подземной среды Санкт-Петербурга по отношению к конструкционным материалам транспортных тоннелей и фундаментов // Записки Горного института. 2007. Т. 172. С. 217–220.
5. Каздым А. А., Чинова А. А., Астахов М. И. Техногенные карбонатные новообразования на бетонных покрытиях моста через р. Нерль (Ярославская область) // Минералогия техногенеза – 2005 / под ред. С. С. Потапова. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. С. 32–39.
6. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. Под общ. ред. В. М. Москвина. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
7. Максимович Г. А. Генетический ряд натечных образований пещер (карбонатный спелеолитолиз) // Пещеры. Пермь: Изд-во ПГУ, 1965. Вып. 5 (6).
8. Максимович Г. А., Бельтюков Г. В. Соляные натечные образования горных выработок // Пещеры. Пермь: Изд-во ПГУ, 1966. Вып. 6 (7).
9. Максимович Н. Г. Карбонатные сталактиты и сталагмиты в подвале Московского университета // Пещеры. Пермь: Изд-во ПГУ, 1976. Вып. 16. С. 24–35.
10. Потапов С. С., Паршина Н. В., Максимович Н. Г. Минеральные образования на кровле и стенах Крестовоздвиженского храма Белогорского Свято-Николаевского монастыря (Пермская область) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Пермь: Изд-во ПГУ, 2002. Вып. 4. С. 69–78.
11. Потапов С. С., Мороз Т. Н. Минералогия и спектроскопия ряда техногенных кальцитов // Минералогия техногенеза – 2003 / Под ред. С. С. Потапова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. С. 39–46.
12. Ферсман А. Е. Занимательная минералогия. Челябинск: Урал-LTD, 2000. 316 с.
13. Чирвинский Н. П. К истории изучения карбонатных сталактито-сталагмитовых образований пещер // Уч. зап. Перм. ун-та. Пермь: Изд-во ПГУ, 1955. Т. 9. Вып. 1.
14. Чирвинский Н. П. К петрографической характеристике сталактитов из некоторых пещер в центральной части Кизеловского каменноугольного бассейна // Уч. зап. Перм. ун-та. Пермь: Изд-во ПГУ, 1956. Т. 10. Вып. 2.
15. Hill C., Forti P. Cave minerals of the world. National Speleological Society, 1997. 464 p.
16. Schwarz R., Lochmann Z. Sekundární pseudokrasovetvayve chnokridovem pis-kovci v Ceske Lipe // Ceskoslovensky Kras. 1969. R. 21.

## **ГЛИНИСТЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗ ПЕЩЕРЫ РАСИКСКИЙ ЛАБИРИНТ**

**V.A. Smirnov**  
*Perm*

### **CLAY FORMATIONS FROM THE RASIKSKY LABYRINTH CAVE**

#### **Summary**

In article the results of complex studying of the test that was taken from clay deposits of the Rasiksky labyrinth Cave are brought. On the basis of studying of chemical and mineral structure and also petrographic features of the investigated material the conclusion about volcanic origin of an investigated material directly in a cave cavity is drawn.

Пещера Расикский Лабиринт расположена на западном склоне Среднего Урала, в пределах Кизеловского каменноугольного бассейна в 2,5 км западнее г. Кизела. В районе пещеры закартированы известняки самарского яруса пермской системы. Пещера относится к разряду вскрытых: полость была обнаружена при прокладке железнодорожного полотна, до этого она не имела связи с поверхностью.

В морфологическом плане большая часть пещеры представляет собой лабиринт низких разноориентированных ходов со следами обрушения кровли. Резко отличается от них линейная в плане галерея, идущая на С-СЗ от входа: она представляет собой вертикальную щель с куполообразным потолком. Суммарная длина пещеры, по С.В. Валуйскому [1], составляет 135 м.

Отложения коричневой глины встречены в северной части пещерного лабиринта. Подобные образования принято называть остаточными элювиальными отложениями, формирующимися за счет накопления и переотложения нерастворимого остатка вмещающих пород [2]. Проведенные исследования заставляют взглянуть на их происхождение под иным углом.

С глубины 30–50 см взята минералогическая проба весом 5,0 кг и ряд образцов. Комплексное изучение материала пробы (рентгенофазовый, термический и микронзондовый анализы, а также петрографическое изучение шлифов) позволило выявить ряд интересных особенностей глинистых отложений данной пещеры.

#### **Минералогические исследования**

В Институте геологии и геохимии РАН им. Заварицкого (г. Екатеринбург) выполнены рентгенофазовый анализ (дифрактометр XRD-7000, Shimadzu) и термоаналитические исследования (дериватограф Diamond TG/DTA, Perkin Elmer) пробы № 7253. По результатам анализов, проба состоит из монтмориллонита (до 55%), кварца (до 10%), гидрослюда (до 10%), хлорита (5%), калиевого полевого шпата (5%), плагиоклаза (4%), гетита (5–6%), кальцита (5%). Подобное сочетание минералов свойственно, за некоторыми исключениями, продуктам выветривания пород основного состава; наличие гидрослюда и хлорита указывает также на имевшие место гидролизные преобразования.

Минералогическая проба № 7253 была обработана и изучена в минералогической лаборатории ФГУП «Геокарта-Пермь». В составе тяжелой фракции минералогической пробы преобладает гетит, развитый по пириту (85%) и по марказиту (14%). Присутствуют редкие зерна гематита, гидроокислов марганца, монацита, пирита, рутила, карбонат-фосфатных обломков, хлорита, циркона, магнетита, магнитных гидроокислов железа. Отмечены единичные зерна карбоната, моноклинного пироксена, малахита. Легкая фракция представлена карбонатом, фосфатными обломками, гидроокислами марганца и омаранцованными обломками пород, глинистыми образованиями по флогопиту, единичными зернами кварца.

### Геохимические исследования

Изучение химического состава отложений выполнено на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV с ЭДС-спектрометром кафедры минералогии и петрографии Пермского университета (аналитик К.П. Казымов). Выполнены три замера по обломкам аргиллитоподобной породы (шлиф 7253-1), результаты приведены в табл.

Таблица

Химический состав глинистых обломков в элювиальных отложениях пещеры  
Расик, мас. %

Точки замера	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ
7253-1	54,31	0,76	20,83	9,29	2,49	1,87	5,95	0,24	2,31	0,47	0,28	98,8
7253-2	60,15	0,72	18,37	7,81	0,33	1,68	7,28	0,35	2,04	0,39	0,26	99,38
7253-3	64,21	0,60	16,48	7,45	0,69	1,57	4,91	0,34	2,85	0,33	0,00	99,43

Примечание: во всех трех точках концентрация Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,00

Обращает внимание аномально высокая концентрация оксида иттрия в двух точках измерения из трех, сделанных по обломкам пород. Кроме того, были выполнены два замера по мелкозернистой связующей массе породы; результаты их некондиционны, но концентрации иттрия в обоих случаях также аномально высоки.

О повышенном содержании в пещерных глинах ряда микроэлементов, в том числе иттрия, упоминали В.Н. Дублянский, А.А. Ломаев [3], но в нашем случае речь идет об аномально высоком содержании иттрия (до 2200 г/т при кларковом содержании 26 г/т), которое трудно объяснить процессом сорбции микроэлементов глинистым материалом.

По геохимическим признакам исследуемая горная порода близка к песчаным туфам и ксенотуфам алмазоносных объектов Волынка и Южная Рассольная [4].

### Петрографические исследования

Из материала пробы были изготовлены 4 полированных образца и 3 прозрачных шлифа, сделаны 33 микрофотографии шлифов. Изучение их показало, что исследуемые отложения резко отличаются от рыхлых, тонкодисперсных осадочных горных пород, достаточно подробно изученных в пещерах других регионов [2]. Следует отметить, что ранее ни в России, ни за рубежом прозрачные шлифы из глинистых отложений пещер не изготавливались.

Изучение полированных образцов и шлифов позволило выявить важную особенность отложений – их обломочное строение. Наиболее наглядно эта особенность внутреннего строения породы проявлена в полированных образцах (рис. 1).

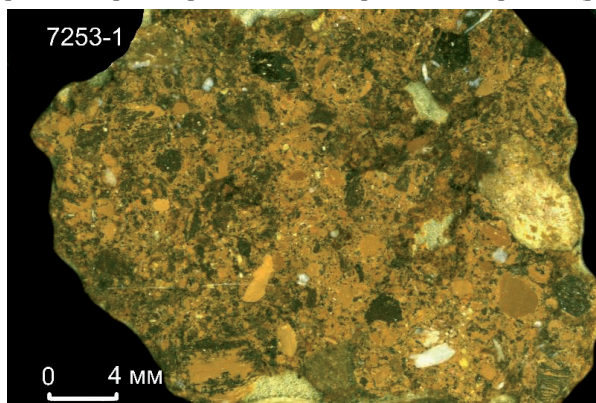


Рис. 1. Полированный образец 7253-1, модиф



Исследуемая горная порода (рис. 2, 3, 4, 5) имеет брекчиевую, литокластическую текстуру [6]. Она сложена преимущественно крупными, до 5 мм, остроугольными обломками аргиллитоподобного глинистого материала красновато-бурого цвета (предположительно, являющегося нацело измененным стеклом); нередко в скрещенных николях наблюдается их волнистое погасание (рис. 2). Присутствуют также редкие, крупные обломки перекристаллизованного известняка. Рудный минерал (гетит) слагает обломки до 1,3 мм, не несущие следов окатанности (рис. 3), тонкую вкрапленность и дендритовидные скопления (рис. 4). Цементирующая масса, количество которой не превышает 15 %, состоит из мелких (0,1–0,01 мм) зерен перечисленных пород.

В качестве примера приведем описание одного из фрагментов шлифа 7253-3. На снимке (рис. 5) – три крупных обломка глинистого материала (аргиллизированных силикатных пород) сцементированы брекчией, состоящей из мелких обломков пород того же состава.

В верхней части снимка – обломок (1,3 × 0,8 мм) однородной глинистой породы красновато-коричневого цвета, с редкими мелкими зернами кварца. Обломок имеет резкие очертания.

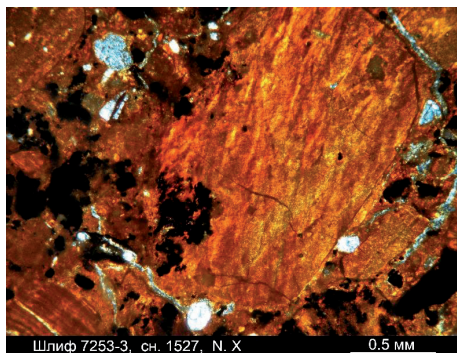


Рис. 2. Фрагмент шлифа 7253-3, сн. 1527

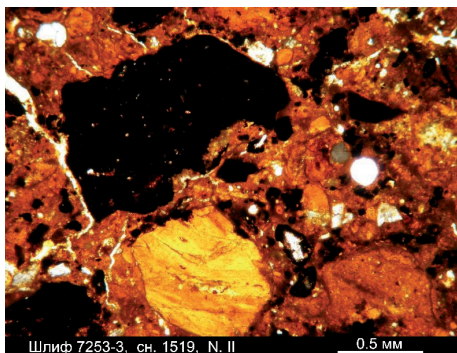


Рис. 3. Фрагмент шлифа 7253-3, сн. 1519

Ниже – обломок (0,5 × 1,0 мм) гидрослюдистого материала желтого цвета, флюидальной структуры (предположительно, измененное стекло). Наблюдается погасание в скрещенных николях. Верхний контакт обломка с цементом резкий, нижний – постепенный, при этом секущий флюиальность.

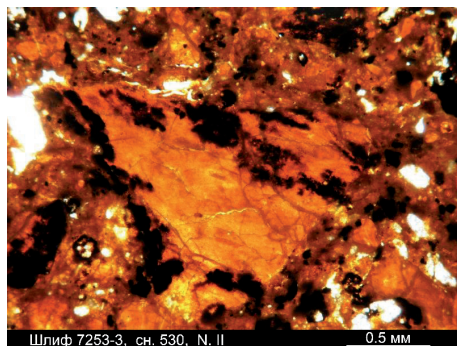


Рис. 4. Фрагмент шлифа 7253-3, сн. 530

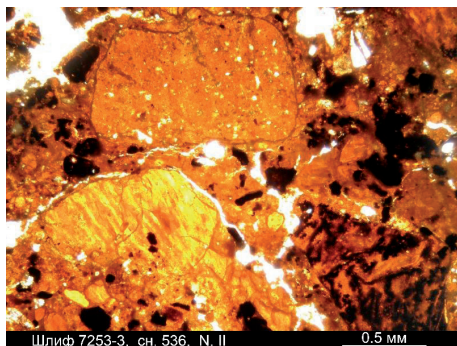


Рис. 5. Фрагмент шлифа 7253-3, сн. 536

В правой нижней части снимка – остроугольный обломок (0,8 × 1,2 мм) глинистой породы красновато-коричневого цвета с аномально высоким (до 20–25 %) содержанием рудного минерала, группирующегося в дендритовидные сростки. Наиболее крупные,

до  $0,4 \times 0,2$  мм, выделения рудного минерала отмечаются в цементе брекчии.

Вывод о составе породы: брекчия пород предположительно основного состава, глинизированная.

Текстура горной породы не имеет ничего общего ни с осадочными горными породами, ни с тектоническими брекчиями. На основании изучения прозрачных шлифов и анализа косвенных признаков высказано предположение о принадлежности исследуемых образований к вулканогенным породам основного состава. Ввиду глубоких и неоднократно проявленных вторичных изменений более детально реконструировать состав исходной породы не представляется возможным.

Автор, проработавший 24 года на вулканитах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, сталкивался с подобными, но значительно менее измененными горными породами.

**Предполагаемый механизм формирования элювиальных глин и вмещающих их полостей.** Результаты проведенных исследований не противоречат представлениям автора о возможности магматогенного происхождения полостей в карбонатных породах [7, 8]. Исходя из термодинамических условий существования карбоната кальция, любая магма, имеющая температуру выше девятисот градусов, контактируя с известняками в близповерхностных условиях, должна вызывать термическую диссоциацию карбоната кальция. Образующийся при этом раскаленный газ ( $610 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$  из  $1 \text{ м}^3 \text{ CaCO}_3$ ) способен распылять магму и формировать в известняках полости сложной конфигурации. Система может функционировать в том случае, если она открыта – газы (а с ними и оксид кальция) должны выбрасываться по трещинам на поверхность: низкое давление – условие диссоциации. После прекращения выделения углекислоты застывшие мелкие обломки лавы и карбонатных пород, оседая на дно выработанных в карбонатах камер, формируют залежи туфов (туффизитов). В верхних частях камер образуются полости, которые принято называть карстовыми пещерами. Экзогенными процессами пирокластический материал превращается в обогащенную железом глину.

Предложенная модель выглядит достаточно фантастично. Однако подобная ситуация описана Г. Макдональдом [5]: «Подсчитано, что во время крупного извержения Везувия в 1906 году вес газа, который вырывался в течение многих часов, превысил вес излившейся лавы... Углекислый газ также может частично или целиком образоваться при прокаливании известняков магматическим теплом». Даже абстрагируясь от вышеизложенной магматогенной гипотезы формирования пещер, можно быть уверенным, что известняки в непосредственной близости от вулкана Везувий весьма перспективны на обнаружение крупных полостей. Это касается и других вулканов, расположенных среди карбонатных пород.

Среди пещер, без сомнения, преобладают полости, сформированные водой. Тем не менее пристального внимания заслуживают полости своеобразной морфологии, называемые спелеологами «древним карстом» (их также относят к проявлениям глубинного карста, гидротермокарста и т. д.). Представления о механизмах формирования этих пещер содержатся в работах П. Босака, А.В. Климчука, Д. Форда и других исследователей. По ряду признаков именно полости «древнего карста» могли быть сформированы магматогенным материалом.

### **Выводы**

1. Исследуемая горная порода сложена преимущественно монтмориллонитом – типичным продуктом выветривания вулканогенных пород основного состава.
2. Концентрация иттрия столь высокого уровня уникальна для глинистых отложений пещер и ранее в них не отмечалась.
3. Процессы вторичных изменений наложены на грубообломочную высокожелезистую силикатную породу литокластической текстуры, типичной для туфов основного состава. Данная порода не носит следов водного переотложения или гидротермального переноса вещества.
4. Рассмотрен механизм формирования элювиальных глинистых отложений пещер в результате взаимодействия с известняками магмы основного состава.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валуцкий С.В. Пещеры Пермской области. Екатеринбург, 2000.
2. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстоведение. Ч.1. Общее карстоведение: учеб.пособие / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2004.
3. Дублянский В.Н., Ломаев А.А. Карстовые пещеры Украины. Киев: Наукова думка, 1980.
4. Лукьянова Л.И., Жуков В.В., Кириллов В.А. Субвулканические эксплозивные породы Урала – возможные коренные источники алмазных россыпей // Региональная геология и металлогения / ВСЕГЕИ, С.-Петербург. 2000. № 12.
5. Макдональд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975.
6. Половинкина Ю.И. Структуры и текстуры изверженных и метаморфических пород. Ч. 2, Т. I. Изверженные породы. М.: Недра, 1966.
7. Смирнов В.А., Разумова Н.П. О взаимодействии магмы с карбонатными породами // Пещеры: межвуз. сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2004.
8. Смирнов В.А. Глинистые образования в карбонатных пещерах Урала //Вестн. КРАУНЦ. Наука о Земле. Вып. № 13. Петропавловск-Камчатский, 2009.

<sup>1</sup>О.И. Кадебская, <sup>2</sup>Б.Т. Ридуш, <sup>1</sup>И.И. Чайковский  
<sup>1</sup>Горный институт Уральского отделения РАН  
<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича

## ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ ФАУНЫ В КИЗЕЛОВСКОЙ (ВИАШЕРСКОЙ) ПЕЩЕРЕ: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

<sup>1</sup>O.I. Kadebskaya, <sup>2</sup>B.T.Ridush, <sup>1</sup>I.I. Tchaikovskiy  
<sup>1</sup>Mining institute of Ural Branch Russian Academy of Sciences  
<sup>2</sup>Chernivtsi Fed'kovych National University

### LATE PLEISTOCENE SITE IN THE KIZELOVSKAYA (VIASHERSKAYA) CAVE: GEOLOGICAL ASPECTS

#### Summary

The results of multidisciplinary investigation, including karstological, stratigraphical, palaeontological, archaeological, mineralogical and geochemical studying of Late Pleistocene deposits from the Kizelovskaya (Viasherskaya) Cave are reported. Only small square of sediments, which was preserved after large scale amateur excavations in the cave since 1960th, were examined. Due to the total screening of deposits a lot of new paleofaunistic material was obtained. Besides paleofaunistic material, the specific mineral formations were revealed. The phosphorite secondary minerals concerned with cave bear bone material were state here for the first time for caves of Kama River basin. The Holocene – Eemian age of the cave deposits section is assumed.

#### История исследований

Пещера находится на территории г. Кизела на правом берегу р. Виашер, в основании 10-метрового уступа известняков визейского яруса нижнего карбона. Протяженность ходов 7600 м, глубина 46 м. Пещера относится к лабиринтовому типу и имеет ярусное расположение ходов и гротов. Основным является средний горизонтальный ярус. В пещере открыто более 90 гротов. Кизеловские пещеры известны местонахождениями костных остатков, главным образом млекопитающих.

Впервые внимание палеонтологов привлекла Кизеловская Медвежья пещера, вход в нее случайно вскрыли при разработке карьера [6].

Позднее материал из Кизеловских пещер был описан Н.К. Верещагиным [6]. В середине 1960-х гг. учитель Луньевской школы Евгений Панфилов Близнецов с местными учащимися начал производить многолетние сборы костей в Кизеловских пещерах (рис. 1, 2, 3).

В архиве г. Александровска были найдены фотографии и тетрадь Е.П. Близнецова, где были описаны раскопки 1960-х гг.: «Разведочная траншея была заложена по длинной оси большого отдела и открыла выход из него на волю под скрытым до этого голоценовыми отложениями скальным козырьком. Интересная стратиграфия оказалась в начале траншеи на участке между серединой высокого навеса и низким козырьком грота. Нижний горизонт в глинистой пачке стерилен, а зеленый слой содержит мелкие фрагменты пещерного медведя (много зубов). Ниже зеленой супеси началась мощная пачка цветов бурых расцветок.

Особенно интересны отложения этого времени оказались в траншее под скальным козырьком. Здесь на глубине 1,7–2,5 м были вскрыты слои, очень напоминавшие основную пачку разведанных ранее «медвежьих» отложений пещеры Тайн, казалось невероятной, но корреляция отложений этих двух медвежьих пещер – очевидна...»

«В продолжении пещеры до задней стены грота костных скоплений больше не встретилось. Но основная рыхлая, перемятая пачка (большой объединенный 4 и 5 слой) была развита на всем десятиметровом протяжении раскопа. Крупные кости медведя в общем редки, больше мелких обломков и косточек разного возраста медвежат.



Фрагментарные медвежьи остатки встречались и в верхних, более уплотненных слоях (слои 2, 3). В слое 4 имеются отдельные находки других видов животных: северного оленя, лошади (два зуба), волка (нижняя челюсть), сайги (фаланги и др.), россомахи (фрагмент плечевой), зайца, мышевидных.



Рис. 1. Е.П. Близнецов на раскопках с учащимися около входа в пещеру (1960 г.)



Рис. 2. Челюсть медведя в раскопе № 5. Фото Е.П. Близнецова, год неизвестен



Рис. 3. Раскопки кремневой мастерской у старого входа Виашерской пещеры.  
Фото Е.П. Близнецова, 1960 г.

Под бурой пачкой (слой 4) залегает зеленоокрашенный уплотненный слой толщиной 0,25–0,35 м, содержащий медвежьи остатки примерно в том же отношении к объему грунта, что и слой 4. Особенностью этого слоя явилось присутствие в нем костей оленя (всего 11 штук)...

В последующие годы Е.П. Близнецов неоднократно посещал пещеру и продолжал начатые там работы, об этом свидетельствуют хранящиеся в фондах Александровского музея фаунистические материалы.

К сожалению, на протяжении последних десятилетий ценный палеофаунистический материал, представляющий огромную научную ценность, бесконтрольно изымался «черными копателями», а потом для продажи вывозился



за пределы Пермского края. Не благоприятствовали сохранению отложений и самодетельные раскопки краеведов-любителей.

Учитывая, что в данной пещере не проводилось комплексных научных исследований, в 2008 г. экспедицией, включающей различных специалистов, была сделана попытка выявить не потревоженные отложения (*in situ*) в пределах так называемого Старого входа в пещеру [5].

### Геологические условия местонахождения

Пещера Виашерская находится в Кизеловско-Чусовской макроантиклинали и заложена в толще плотных массивных органогенных известняков визейского яруса нижнего карбона. Последние залегают здесь моноклинально, с пологим падением на северо-восток.

В геоморфологическом отношении территория характеризуется как остаточный массив миоценовой пенеппенизации. Толща известняков составляет фундамент структурной террасы, поверхность которой залегает на высоте 337–340 м, в 100–110 м над руслом р. Виашер, и, очевидно, была вскрыта рекой еще в раннем плейстоцене. Надо полагать, что первоначальное закарстование толщи происходило в дочетвертичный (миоцен–плиоцен) период, во время начала прорезания известняковой толщи. В начале антропогена карстовая гидрогеологическая система была вскрыта и сдренирована. Ныне известная часть пещеры была вскрыта гораздо позже (конец среднего – начало позднего плейстоцена) уже в результате регрессии склона. Пещера лабиринтового типа, имеет несколько ярусов, связанных между собой вертикальными колодцами, возможно, гипогенно-карстового генезиса.

Фактически в пределах пещерного поля Е.П. Близначевым были выявлены несколько местонахождений (рис. 4), одно из которых во входном гроте так называемого Старого входа. Этот грот, в котором Е.П. Близначевым был заложен шурф № 5, в своей северной части узким лазом соединяется с внутренними частями пещеры, а южной стороной открывается наружу. Это обстоятельство способствовало аккумуляции в гроте аллохтонного рыхлого материала.

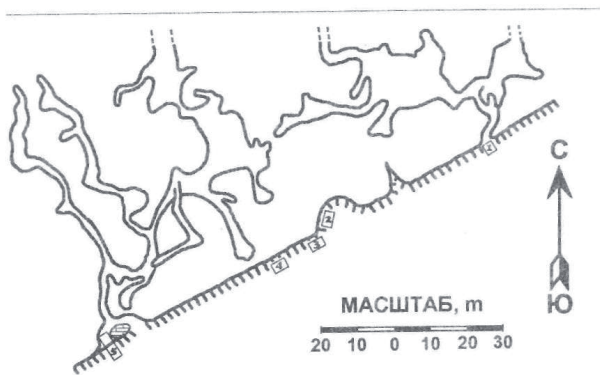


Рис. 4. План-схема расположения раскопов Е.П. Близначева в Виашерской пещере

По имеющейся схеме раскопов Е.П. Близначева, первоначально считалось, что в дальней части входного грота раскопов не производилось. Поэтому первый шурф был заложен у северной дальней стены грота (рис. 5).

При вскрытии отложений оказалось, что до основания грота в этой части находятся отвалы прошлых раскопов; найденный костный материал и отобранные пробы на промывку могли дать дополнительные данные по характеру отложений, а также по фаунистическому составу мелких и крупных млекопитающих.

У входа в двух метрах от западной стенки, под большой упавшей глыбой известняка (мощностью 1 м), был заложен 2-ой разведочный шурф, в котором был вскрыт фрагмент ненарушенных отложений, мощностью около 1 м. В дальнейшем

образцы из этих отложений будут условно называться стратифицированными.

В тексте используется термин «образец» – изъятая часть породы или отдельная кость. Раскопки проводились без предварительной зачистки слоев условно предполагаемого неперекопанного грунта от возможных примесей породы из отвалов. Грунт выбирался порционно из визуально выделенных слоев отложений. Отбор образцов проводился как по глубине, так и по площади раскопа, поэтому глубины взятия отдельных образцов перекрываются (табл.). По этой причине расположить образцы по глубине отбора можно только в самом общем виде.

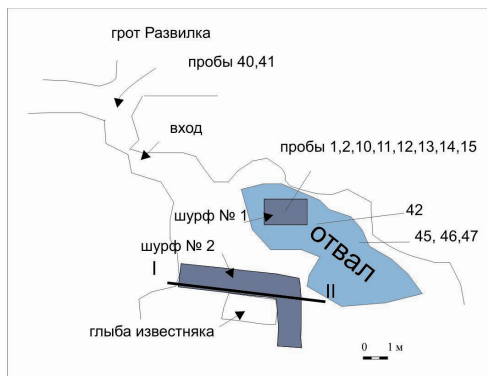


Рис. 5. План-схема привходового грота, разрез шурфа № 2 обозначен линией I-II и представлен на рис. 6

Таблица

Стратиграфия рыхлых отложений по данным работ и соотношение их с данными Е.П. Близнецов

№ слоя	Состав отложений по Е.П. Близнецову	Мощность, м	Состав отложений по раскопкам 2008 г.	Мощность, м
1	Черный гумусированный мелкозем с известняковым щебнем	0,8	Слой 1 (0–1,0 м) – глыба известняка.	1,0
2	Темно-серый суглинок с известняковым щебнем	0,4		
3	Светло-коричневый суглинок с известняковым щебнем	0,4	Слой 2 (1,0–1,2 м) – суглинок красновато-коричневый с известняковым щебнем и дресвой. Среди костей преобладают остатки мелких млекопитающих.	0,2
4	Коричневый суглинок с большим количеством костей	0,8	Слой 3 (1,2–1,5 м) под камнем суглинок зеленоватый, слева суглинок буроватый, местами переходящий в зеленоватый (возможно перекопанный), справа коричневато-бурый с известняковым щебнем и костями крупных и мелких млекопитающих.	0,3
5	Коричневато-зеленый суглинок с известняковым щебнем	0,3	Слой 4 (1,5–2,0 м) суглинок зеленоватый с измененным известняковым щебнем и костями крупных и мелких млекопитающих. На глубине 1,6–1,7 м большое скопление костей пещерного медведя черного цвета.	0,5
6	Зеленоватая супесь с острым известняковым щебнем	0,3		
7	Кальцитовая кора	0,05	Обломки брекчиевидных фосфоритов	0,05
8	Терра-росса с редкими сталактитами, без костных останков	3	Слой 5 (2,0–2,2 м) Супесь светлокоричневая с обломками различной степени литифицированных фрагментов брекчии с костями крупных и мелких млекопитающих. Подавляющее большинство костей покрыты дендритами гидроксидов марганца.	0,2

Отложения, как из ненарушенных слоев, так и из отвалов раскопок прошлых лет подвергались промывке для выявления микрофауны и мелких костей крупных животных. Промывка этих отложений для выделения костей животных позволила выявить, наряду с остатками плейстоценовой фауны, специфические минеральные образования, свидетельствующие о значительной трансформации осадков, произошедшей после их накопления. В четвертом слое выявлены зональные псевдоморфозы (рис. 7, 8).

Стратиграфия рыхлых отложений в гроте представлена в табл. и на рис. 6.

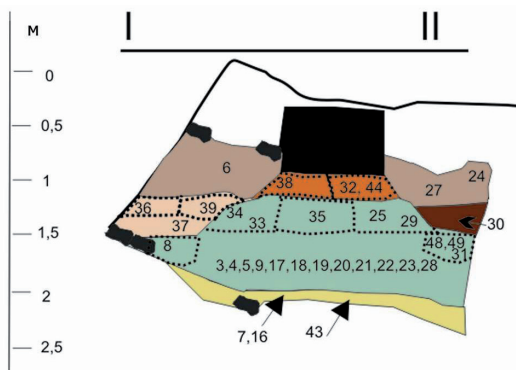


Рис. 6. Разрез шурфа № 2 по линии I-II с номерами отобранных образцов

Первые два слоя, по Е.П. Близнецову, несомненно, представляют собой отложения, связанные с голоценовой почвой или ее переотложением. На исследованной нами площади данный интервал был заполнен известняковой глыбой, которая, в сущности, предохранила участок отложений от уничтожения.

Светло-коричневому суглинку из слоя 3 Близнецова, вероятно, соответствует наш красно-коричневый суглинок, а коричневому – наш буровато-коричневый. Буровато-коричневые и красно-бурые суглинки и супеси, отлагавшиеся в «ледниковую эпоху калининского оледенения», характерны для отложений верхней части второй террасы Южного Урала [1]. Очевидно, что аналогичные отложения формировались в это же время на западном склоне Среднего Урала и были переотложены в пещере.

Обилие в красно-коричневом слое, залегающем в интервале 1,0–1,2 м, копытного лемминга и практически отсутствие остатков пещерного медведя (немногочисленные фрагменты, скорее всего, были переотложены) дают основание относить этот слой к холодной стадии, которая, вероятно, соответствует верхнему плениглюциалу (LGM, MIS-2).

Коричнево-бурый суглинок, соответственно, может быть отнесен к предшествующей теплой эпохе – невяньскому интерстадиалу (MIS-3). Имеются основания относить слои, содержащие непереотложенные остатки *Ursus spelaeus*, ко времени ранее максимального похолодания последнего оледенения (MIS-2, LGM). Последние данные об исчезновении *Ursus spelaeus* на территории Польши [14] и Центральной Европы в целом [15] показывают, что этот вид не пережил здесь временного порога в 26–24 тыс. т.н., т.е. начала OIS-2. Наиболее вероятно, что такой вывод будет справедливым и для Восточной Европы, поскольку и здесь до сих пор не известно ни одной достоверной даты после этого времени.

Зеленоватый суглинок, залегающий в интервале 1,2–2,0 м, резко отличается от вышележащих по фоссилизации костей (темно-коричневый и черный цвет). Так, для отложений пещеры Кударо I на Кавказе отмечается, что в начальную стадию субэарального диагенеза почти все породы осадочной толщи сохранили свой первоначальный обломочный облик, и только ашельские оказались сильно преобразованными [9]. Для этого понадобились условия относительно теплого и влажного климата, сохранявшего продолжительное время. Отметим, что упомянутые

ашельские слои имеют как минимум довьюрмский возраст. Кроме того, в отвалах из этого слоя найден зуб дикобраза (*Hystrix* sp.), что также позволяет отнести этот слой к микулинскому межледниковью. О теплом влажном климате может свидетельствовать большое количество так называемых «галеков Близнецова», оказавшимися зональными фосфорит–кальцитовыми псевдоморфозами по обломкам карбонатных пород [11].



Рис. 7. Зональные кальцит-апатитовые каймы замещения на обломках известняка. В центре брахиопода каменноугольного возраста

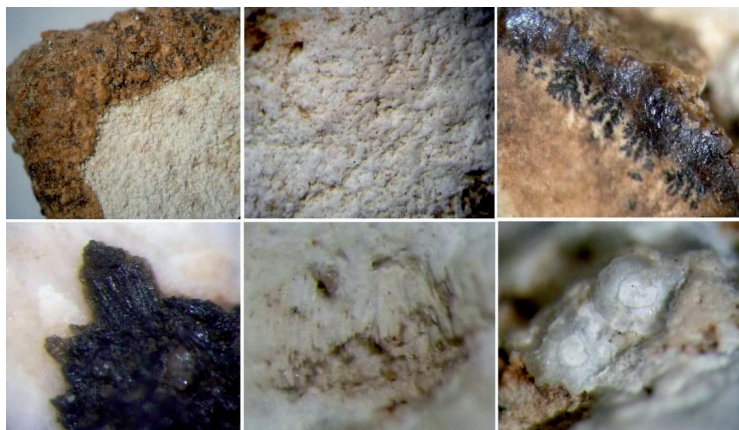


Рис. 8. Детали зональных кайм и приуроченные к ним минералы: 1 – апатитовая кайма, обволакивающая и наследующая неровную поверхность зернистого известняка; 2 – сrostки кристаллов вивианита; 3, 4 – игольчато-пористое строение внешней карбонатной оторочки; 5 – поздние дендриты гидроксидов марганца в трещине, секущей фосфатную кайму и карбонатное ядро; 6 – халцедон-кварцевые сферолиты

В шурфе № 1, который вскрыл отвалы предыдущих раскопок, также встретились подобные образцы. Из описания Е.П. Близнецова: «...под глинистым слоем здесь вышел супесчаный слой зеленой окраски, содержащий сильно окатанные до округлостей куски камней и щебня. Начал встречаться окатанный материал еще в нижнем горизонте глинистой пачки, более светлоокрашенном...»

Эти обломки не были окатаны, как считал Е.П. Блинецов, наличие на поверхности фосфатной каймы трещин усыхания отражает содержание в ней воды и говорит о формировании этого фосфатного слоя из коллоидного раствора. Предполагается, что в процессе взаимодействия раствора с обломками известняков происходила диффузия фосфатного материала во внутреннюю часть и транспортировка растворенного карбоната кальция через коллоидную мембрану, что и обусловило тонкодисперсное и игольчатое строение внешней каймы. В процессе замещения нередко в виде теневых структур сохраняются внутренние элементы исходного субстрата, будь то крупнозернистое строение исходного известняка или элементы анатомии брахиопод. Нахождение гидроксидов марганца в секущих трещинах отражает его формирование после (частичного?) обезвоживания фосфатного вещества.

Центральная их часть сложена практически неизменной карбонатной породой. Внутренняя кайма состоит из фосфатного вещества с раковистым изломом светло-коричневого цвета напоминающего столярный клей. Внешняя кайма сложена плотным тонкодисперсным или игольчато-пористым карбонатным материалом. К границам этих зон тяготеют единичные халцедон-кварцевые сферолиты и сростки кристаллов вивианита. Особенно много дендритовидных примазок гидроксидов марганца, которые отмечаются также в трещинах секущих все зоны псевдоморфоз.

Отложения самого нижнего слоя, (в основании разреза рыхлых отложений 2,0-2,2 м) образовались во временной интервал, когда данный грот был на значительном удалении от древнего входа, достаточном для почти полного предотвращения привнесения аллохтонного обломочного (зоогенного и эолового) материала и предположительно могут быть отнесены к начальным фазам микулинского интергляциала. Позднее, в этом интервале образовался прослой брекчиевидного фосфорита (рис. 9), насыщенного обломками карбонатов, в различной степени преобразованных. Образование прослоя произошло за счет инфильтрации растворенного материала из вышележащей толщи на протяжении последующих тысячелетий.



Рис. 9. Общий вид и внутреннее строение (справа) обломков брекчиевидных фосфоритов. Включения представлены фрагментами известняка и пещерного оникса, в различной степени замещенными и перекристаллизованными

Основная масса фосфорита часто имеет кавернозное строение, связанное со стягиванием фосфата в глобулярные обособления размером до 0,5 см (рис. 10). Реже отмечаются натечные агрегаты. Как и в случае псевдоморфоз, на поверхности глобулей видны следы обезвоживания и растрескивания. Обломки известняков могут быть



замещены как зонально, так и в виде сложных брекчиево–кокардовых или шестоватых карбонат-фосфатных агрегатов. Наличие большого количества включений псамитовой и пелитовой размерности позволяет предполагать, что фосфатный гель практически полностью заместил исходный песчано-глинистый материал.



Рис. 10. Детали строения фосфоритов: 1, 2 – участки глобулярно-кавернозного цемента; 3 – корочка обезвоживания на поверхности фосфата; 4 – участок натечного строения; 5, 6 – кокардовые и шестоватые агрегаты кальцита и апатита внутри измененных карбонатных обломков

### Заключение

Комплексное исследование всего лишь одного сохранившегося целика пещерных отложений на одном из когда-то богатейших плейстоценовых местонахождений Кизеловской (Виашерской) пещеры, включающее их карстологическое, стратиграфическое, палеонтологическое, археологическое, минералогическое и геохимическое изучение, позволило существенно дополнить имевшуюся ранее информацию о данном местонахождении. Впервые, здесь была исследована фауна мелких млекопитающих (см. статью Фадеева и др. в этом же сборнике). Благодаря сплошной промывке отложений получен новый фаунистический материал, включающий редкие и ранее неизвестные здесь виды (*Hystrix* sp.).

Помимо обнаружения новых видов млекопитающих, тщательное исследование пещерных отложений позволило выявить специфические минеральные образования. Впервые в пещерах Прикамья зафиксированы фосфоритовые породы, в образовании которых, наряду с копролитами предполагается участие костного материала пещерных медведей. Установлена вертикальная зональность в распределении новообразованных минеральных фаз. Прослежена химическая и минералогическая специализация различных частей скелета медведей и унаследованность химизма новообразованных фосфатов от замещаемых субстратов. В проявлении запечатлен фрагмент круговорота фосфора – одного из важнейших биофильных элементов. Несмотря на кажущуюся экзотичность источника фосфора для фосфоритов стоит отметить, что первый российский фосфорный завод был открыт в Перми Е.К. Тупицыным в 1871 г. и базировался на переработке костей домашнего скота.

Новые данные, в том числе и геохимические, поставили вопрос о пересмотре геологического возраста отложений. Предположительно, разрез включает слои, охватывающие время от голоцена до начала микулинского интергляциала (MIS–5e). Однако, окончательные выводы будут сделаны по результатам радиоизотопного датирования.

Авторы выражают благодарность К.П. Казымому, В.А. Смирнову, У.В. Жаковой, Е.П. Чирковой за помощь при исследовании данных образований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вербицкая Н.П. Четвертичные отложения Урала // Хронология и климаты четвертичного периода. Международный геологический конгресс. XXI сессия. Доклады советских геологов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 137–148.
2. Геология СССР. Т. XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. I. Геологическое описание / гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1969. Кн.1. 724 с.
3. Геология СССР. Т. XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. I. Геологическое описание / гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1969. Кн.2. 304 с.
4. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые. М.: Изд-во МГУ; ИКЦ «Академкнига», 2007. 459 с.
5. Кадебская О.И. Оценка современного состояния пещер, содержащих плейстоценовые отложения на территории Пермского края // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф. Красноярск, 2009. С. 106–113.
6. Косинцев П.А., Кадебская О.И. Пещеры Кизеловского карстового района // Геологические памятники Пермского края: энцикл. / ГИ УрО РАН. Пермь, 2009. С. 197–205.
7. Косинцев П.А., Воробьев А.А. Остатки крупных млекопитающих из местонахождения Виашер на Среднем Урале // Плейстоценовые и голоценовые фауны Урала. Челябинск, 2000. С. 105–122.
8. Кузьмина И.Е. Некоторые данные о млекопитающих Среднего Урала в позднем плейстоцене // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. М., 1975, № 43. С. 63–71.
9. Рентгартен Н.В., Черняховский А.Н. Состав и условия образования осадочных отложений, выполняющих пещеру Кударо I // Кударские пещерные палеолитические стоянки в Юго-Осетии (вопросы стратиграфии, экологии, хронологии). М.: Наука, 1980. С. 33–38.
10. Смирнов Н.Г., Вотяков С.Л., Садыкова Н.Н. и др. Физико-химические характеристики ископаемых костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительного возраста. Ч. 1. Термический и масс-спектрометрический элементный анализ. Екатеринбург, 2009. 118 с.
11. Чайковский И.И. Кадебская О.И. Феномен постплейстоценового фосфоритообразования в Виашерской пещере // Вестник Пермского научного центра, 2010, № 2. с 11–16.
12. Чухров Ф.В. Коллоиды в Земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 672 с.
13. Hill C., Forti P. Cave minerals of the world. National Speleological Society. Huntsville, 1986. 238 p.
14. Nadachowski A., Lipecki G., Stefaniak K., Wojtal P. Radiocarbon dates on cave bear (*Ursus spelaeus*) and brown bear (*Ursus arctos*) from Late Pleistocene of Poland // Geophysical Research Abstracts. Vol. 12. EGU2010–5815, 2010. EGU General Assembly.
15. Pacher M., Stuart A.J. Extinction chronology and palaeobiology of the cave bear (*Ursus spelaeus*) // Boreas, 10.1111/j.1502–3885.2008.00071.x, 2008. P. 1–18.

**<sup>1</sup>Т.В. Фадеева, <sup>2</sup>П.А. Косинцев, <sup>3</sup>Б.Т. Ридуш**  
**<sup>1</sup>Естественнаучный институт Пермского государственного**  
**университета**  
**<sup>2</sup>Институт экологии растений и животных УрО РАН**  
**<sup>3</sup>Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича**

## **ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ ФАУНЫ В КИЗЕЛОВСКОЙ (ВИАШЕРСКОЙ) ПЕЩЕРЕ: ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

---

**<sup>1</sup>T.V. Fadeeva, <sup>2</sup>P.A.Kosintsev, <sup>3</sup>B.T.Ridush**  
**<sup>1</sup>Natural Sciences Institute of Perm State University**  
**<sup>2</sup>Institute of plant and animals ecology of Ural Branch Russian Academy of**  
**Sciences**

**<sup>3</sup>Chernivtsi Fed'kovych National University**  
**LATE PLEISTOCENE SITE IN THE KIZELOVSKAYA (VIASHERSKAYA)**  
**CAVE: PALEONTOLOGIC ASPECTS**

### **Summary**

The results of the palaeontological studying of Late Pleistocene deposits from the Kizelovskaya (Viasherskaya) Cave, as a part of multidisciplinary studying, are reported. Five groups of small mammals associations from different lithological layers were recognised. Most of them belongs to Late Pleistocene Lemmini faunas of the Pre-Urals and characterise temperate-cool conditions of the Middle Weichselian interglaciation (MIS-3). The mega-fauna is represented mainly by *Ursus spelaeus*, which subfossil remains, both young and adult specimens, are concerned with death during winter hibernation.

В статье представлено описание костных остатков млекопитающих (Rodentia, Insectivora, Lagomorpha, Chiroptera, Carnivora, Artiodactyla, Perissodactyla) из отложений пещеры Виашерская (раскопки 2008 г.). Геологическое описание отложений пещеры и история исследований представлена в настоящем сборнике в статье О.И. Кадебской, Б.Т. Ридуша, И.И. Чайковского «Позднеплейстоценовое местонахождение фауны в Кизеловской (Виашерской) пещере: геологические аспекты». В данной статье имеются ссылки на рис. 5–6 этой статьи. Часть костного материала и описание стратиграфии отложений были переданы Е.П. Близнецовым (автором предыдущих раскопок) для исследования в Институт экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург). На основании изучения около 9 000 костных остатков были выделены две хронологические выборки – позднеплейстоценовые (выделено два типа фаун, которые вероятно формировались в невьянском интерстадиале и полярноуральском гляциале) и голоценовые [2].

Для зоогенных отложений пещеры Виашерская на данный момент известно 6 радиоуглеродных дат. Все они получены по костям из раскопа № 5 Е.П. Близнецова: слои 1–3 (гумус, темно-серый суглинок, светло-коричневый суглинок) –  $13\,570 \pm 70$  ОхА–10908;  $16\,130 \pm 150$  СОАН–5230;  $16\,900 \pm 115$  СОАН–5231; с поверхности –  $19\,550 \pm 230$  СОАН–4526; слой 4 (коричневый суглинок) –  $22\,650 \pm 670$  СОАН 4515; дата, полученная по костям мамонта и пещерного медведя, –  $23\,830 \pm 250$  ЛЕ–2767 [1, 5, 9].

Материал и методы. Нумерация образцов (рис. 5-6, статья Кадебской О.И. и др.) была проведена в полевых условиях и не отражает последовательность взятия материала из раскопа. При дальнейших исследованиях авторы сохранили в публикации полевую нумерацию образцов. Учитывая методику взятия образцов, наиболее корректно считать каждый образец самостоятельным и рассматривать результаты определения костных остатков из него как отдельную локальную фауну. Поэтому при дальнейшем анализе данные по каждому образцу рассматриваются как отдельные

локальные фауны. Стратифицированные образцы и большая часть образцов из отвалов имеют описание породы. Образцы были переданы для палеозоологического исследования в виде отдельных костей и концентрата (промывка осуществлялась в полевых условиях на ситах с ячейкой 1 мм). Исследованы стратифицированные образцы из раскопа и прилежащих отвалов (рис. 5, статья Кадебской О.И. и др.) и образцы из отвалов раскопа № 5 Е.П. Блинецова (рис. 6, статья Кадебской О.И. и др.). Учитывая тот факт, что до проведения данных раскопок не существовало сведений по видовому составу ископаемых костных остатков трех отрядов млекопитающих (насекомоядных, рукокрылых и грызунов) этой карстовой полости, в данной работе мы попытались сделать предварительный анализ фаунистических комплексов мелких млекопитающих.

На основании полученного материала раскопок 2008г. рассматривались комплексы мелких млекопитающих из каждого образца из выделенных условных горизонтов и каждого образца из отвалов. Рабочие исследовательские материалы по образцам включают подробные таблицы с указанием количества каждого щечного зуба и челюстей определенного вида (рода) мелкого млекопитающего. На основании этих данных составлялись отдельные сводные таблицы для образцов из раскопа 2008 г. и отвалов раскопа № 5 (табл. 1, 2), в которых отражено количество зубов и челюстей каждого вида в образце. Для отрядов Rodentia, Insectivora, Lagomorpha, Chiroptera добавлены расчеты процентного соотношения остатков видов в образцах, исходя из суммы одноименных максимально представленных зубов и челюстей (100 %) в каждом из них. Такие расчеты помогают при кластеризации материала, хотя в данном случае при сравнительно малых выборках материала и отсутствии единой принятой в палеозоологии методики раскопок, такие действия весьма условны и применяются в качестве вспомогательной базы для доказательства наличия разновременных материалов в одном образце породы. Все выбранные из концентрата зубы и челюсти всех обнаруженных видов млекопитающих расставлены на липкой ленте, которая в отличие от мастики, используемой ранее в подобных исследованиях при сохранении материала, не загрязняет и не изменяет цветовых и химических характеристик зубов со временем.

По существующей методике определения леммингов из трибы Lemmini gen. сибирского и лесного леммингов можно дифференцировать только по зубу МЗ. Однако в подобных выборках из зоогенных отложений, образованных экскрементами хищников, доля определенных до вида зубов оказывается сравнительно небольшой (30,6 % в пещере Махневская-2, 56,2 % – в пещере Долгого Камня-3) прежде всего из-за плохой сохранности. В таблице по процентному соотношению костных остатков видов указывается общая доля зубов и сибирского, и лесного леммингов. Не удалось установить и видовую принадлежность копытных леммингов из исследуемых образцов – количество коренных зубов М1 и М2, используемых в диагностике [6], недостаточно для проведения идентификации. Костные остатки представителей четырех отрядов (грызунов, насекомоядных, зайцеобразных и рукокрылых) были извлечены из 24 образцов грунта пещеры (16 образцов – раскоп 2008 г. и 8 образцов – отвалы раскопа № 5 Е.П. Блинецова). Выбраны, соответственно 2776 и 2262 зуба грызунов, 26 и 16 зубов зайцеобразных, 41 и 31 челюсть насекомоядных и 89 и 54 челюсти рукокрылых. Количество определенных до вида и рода костей млекопитающих из отрядов хищных, непарнопалых, парнопалых составляет 551 экземпляр (96 % – *Ursus spelaeus*), среди которых 426 зубов. Многочисленные мелкие фрагменты костей крупных млекопитающих обнаружены в большинстве образцов, как и элементы посткраниального скелета мелких зверей. Соотношение массы костей мелких и крупных млекопитающих изменяется с глубиной и породой – до глубины 1,2 м в красно-коричневом суглинке составляет соответственно 1:3–5, ниже – до глубины 2,2 м, количество крупных костей значительно выше (1:8,5–43).

Таблица 1

Количество (N) и соотношение (%) щечных зубов (Rodentia Lagomorpha) и челюстей (Insectivora, Chiroptera) млекопитающих в отложениях раскопа 2008 г. Старый вход. Пещера Виашерская

Порода, глубина	1,0–1,2 м, красновато-коричневый суглинок				1,2–1,5 м, коричнево-бурый суглинок		1,2–1,5 м, коричнево-бурый суглинок, переход в зеленоватый		отвал, коричневый суглинок	
Вид/ номер образца	32		38		36		39		6	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
<i>Microtus gregalis</i>	11	26,8	4	12,9	5	13,3	4	11,4	7	20,7
<i>Microtus oeconomus</i>	2	4,9	6	19,4	7	18,4	-	-	5	14,7
<i>Microtus agrestis</i>	-	-	2	3,2	4	7,9	5	8,5	5	5,9
<i>Microtus sp.</i>	56	-	47	-	46	-	29	-	44	-
<i>Arvicola terrestris</i>	-	-	-	-	1	2,6	9	8,5	5	5,9
<i>Dicrostonyx sp.</i>	93	43,9	27	32,3	37	28,8	12	11,4	14	14,7
<i>Lemmus sibiricus</i>	3	-	1	-	?	-	?	-	2	-
<i>Myopus schisticolor</i>	?	-	1	-	-	-	-	-	?	-
Lemmini gen	17	12,2	5	6,4	12	13,2	8	14,3	18	14,7
<i>Clethrionomys rufocanus</i>	3	7,4	5	16,1	2	5,3	2	5,7	2	5,9
<i>Clethrionomys ex gr. rutilus - glareolus</i>	?	-	?	-	2	5,3	6	17,1	2	5,9
<i>Clethrionomys sp.</i>	11	-	12	-	13	-	19	-	12	-
<i>Sicista sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2,9
<i>Hystrix sp.</i>	-	-	-	-	-	-	1	2,9	-	-
<i>Sorex araneus</i>	-	-	-	-	1	2,6	-	-	-	-
<i>Sorex tundrensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sorex caecutiens</i>	-	-	-	-	1	2,6	-	-	-	-
<i>Sorex sp.</i>	-	-	2	6,5	-	-	1	2,9	1	2,9
<i>Ochotona sp.</i>	1	2,4	-	-	-	-	1	2,9	-	-
<i>Plecotus auritus</i>	-	-	-	-	-	-	2	5,7	-	-
<i>Myotis brandtii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,9
<i>Myotis dasycneme</i>	-	-	-	-	-	-	1	2,9	-	-
<i>Myotis sp.</i>	-	-	1	3,2	-	-	1	2,9	-	-
Chiroptera	1	2,4	-	-	-	-	1	2,9	2	2,9
Всего / Суммарное количество максимально представленных одноименных зубов (100 %)	198	41	113	31	131	38	102	33	122	34

Видовая принадлежность зубов представителей рода *Ursus* (табл. 7–14) определялась по морфологическим и размерным данным (рис. 1) по методике Г.Ф. Барышникова (2007).

В данной работе, исходя из размерности большинства представителей, млекопитающие отрядов Rodentia, Insectivora, Lagomorpha, Chiroptera условно отнесены к группе «мелкие млекопитающие» и, аналогично, представители отрядов Carnivora, Artiodactyla, Perissodactyla – к группе «крупные млекопитающие».

**Сохранность и цветовые характеристики костей.** Грызуны, зайцеобразные представлены отдельными зубами, фрагменты челюстей единичны, насекомоядные – фрагментами нижних челюстей (преобладают фрагменты нисходящей ветви с молярами–альвеолами m2 – m3) и единичными фрагментами черепа, рукокрылые – фрагментами нижних челюстей (в основном челюсти без восходящей ветви) и редкими фрагментами черепа. Происхождение большей части этого материала – экскременты четвероногих хищников. Кости летучих мышей в отложениях могут иметь подобное происхождение, но не исключается и вероятность естественной гибели зверьков во время зимней спячки от различных факторов (перепады температур, инфекции и т.д.).



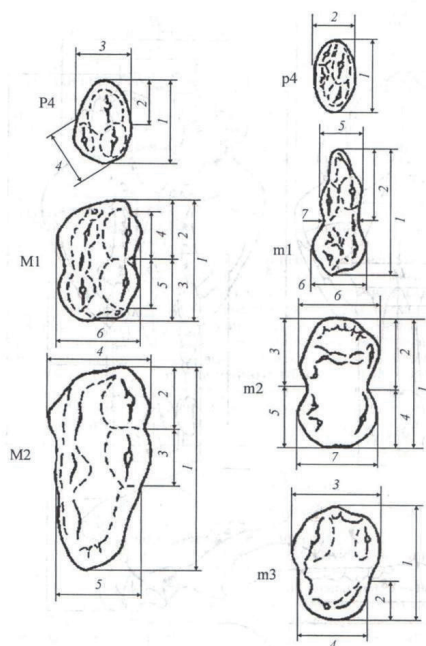


Рис. 1. Схема промеров щечных зубов пещерного медведя (*Ursus spelaeus*) [1].

Подавляющее большинство костей крупных млекопитающих представлено мелкими фрагментами, большая часть которых имеет размеры менее 1 см и до вида не определима. Эти фрагменты не имеют характерных признаков прохождения через желудочно-кишечный тракт и не имеют явных следов от зубов. На основании этого можно полагать, что такая сильная фрагментация не связана с деятельностью хищников. Причины этой фрагментации пока не ясны. Среди костей крупных млекопитающих полную сохранность имеют только коленные чашечки, пяточные, карпальные и тарзальные кости, метаподии, фаланги и сесамовидные кости. Судя по количеству молочных зубов, в пещере погибло много медвежат.

Прокрашенность зубов и костей от светло-желтой, темно-желтой, коричневой до темно-коричневой, черной, обугленные остатки отсутствуют. В большинстве рассматриваемых образцов с костными остатками мелких млекопитающих обнаружены зубы и кости всех указанных типов покрашенности (в том числе и в пределах одного вида). Исключение представляет только образец № 16 с глубины 2,0–2,2 м (максимальная глубина раскопа Старого входа), в котором все зубы и челюсти имеют светло-желтую покрашенность. Кости северного оленя и волка (обр. № 1) выделяются бледно-желтым окрасом с сероватым оттенком, возможно, эти кости попали в отвал из верхних отложений. Большая часть крупных костей и их фрагментов имеет коричневый окрас – таковых большинство в образцах из красно-коричневого и коричнево-бурого суглинков. В слое зеленоватого суглинка (от 1,3 м и глубже) обнаружены кости темно-коричневого и черного окраса. Образец № 7 из группы образцов, не содержащих кости мелких млекопитающих, взят с глубины 2,0–2,2 м и включает кости светло-желтого окраса (в том числе плечевую кость *Ursus spelaeus*), на некоторых имеются редкие черные пятна соединений железа и марганца. Такого же желтого окраса и фаланга шерстистого носорога (обр. № 14) и пяточная кость пещерного медведя (обр. № 8).

Таблица 1 (продолжение)

Порода, глубина	1,2–1,5 м, зеленоватый суглинок				1,3–1,5 м, зеленоватый суглинок		1,3–1,5 м, отвал, коричнево- бурый суглинок		1,3–1,5 м, коричневый грунт		1,5–1,7 м, зеленоватый суглинок	
Вид/ номер образца	35		25		33		27		30		31	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
<i>Microtus gregalis</i>	-	-	3	5,1	-	-	14	7,7	10	9,4	-	-
<i>Microtus middendorffii</i>	-	-	-	-	-	-	1	0,5	-	-	-	-
<i>Microtus oeconomus</i>	2	14,4	8	13,5	6	20,7	29	15,8	16	15,2	5	12,8
<i>Microtus agrestis</i>	1	7,1	5	6,8	5	13,9	15	5,4	8	3,8	3	5,1
<i>Microtus sp.</i>	12	-	29	-	54	-	219	-	116	-	25	-
<i>Arvicola terrestris</i>	8	21,4	25	15,1	6	6,9	45	5,9	15	3,8	11	12,8
<i>Dicrostonyx sp.</i>	4	7,1	16	6,8	13	13,9	120	11,3	62	19,0	11	12,8
<i>Lemmus sibiricus</i>	?	-	2	-	2	-	33	-	10	-	?	-
<i>Myopus schisticolor</i>		-	?	-	?	-	?	-	1	-	?	-
Lemmini gen	5	14,4	17	8,5	18	20,7	220	29,8	113	30,4	19	10,3
<i>Clethrionomys rufocanus</i>	?	-	4	5,1	?	-	24	9,7	9	8,6	?	-
<i>Clethrionomys ex gr. rutilus</i> – <i>glareolus</i>			?	8,5	2	6,9	19	5,4	3	2,9	8	10,3
<i>Clethrionomys sp.</i>	8	21,4	28	-	5	-	61	-	42	-	9	-
<i>Apodemus sylvaticus</i>	-	-	3	3,4	-	-	1	0,5	-	-	-	-
<i>Citellus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2,6
<i>Sorex araneus</i>	1	7,1	2	1,7	1	3,4	3	1,6	1	1,0	-	-
<i>Sorex tundrensis</i>	-	-	-	-	1	3,4	-	-	-	-	-	-
<i>Sorex caecutiens</i>	-	-	-	-	-	-	2	1,1	-	-	-	-
<i>Sorex sp.</i>	-	-	2	3,4	-	-	2	1,1	-	-	-	-
<i>Ochotona sp.</i>	-	-	2	1,7	1	3,4	8	1,1	1	1,0	1	2,6
<i>Lepus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	3	0,5	1	1,0	-	-
<i>Epitesicus nilssonii</i>	-	-	5	6,8	-	-	1	0,5	-	-	-	-
<i>Plecotus auritus</i>	-	-	6	5,1	1	3,4	1	0,5	-	-	2	5,1
<i>Myotis sp.</i>	-	-	1	1,7	-	-	1	0,5	3	2,9	6	15,4
Chiroptera	1	7,1	4	6,8	1	3,4	2	1,1	1	1,0	4	10,2
Всего / Суммарное количество максимально представленных одноименных зубов (100 %)	41	14	162	55	116	29	824	185	415	105	105	41

### Мелкие млекопитающие

**Типология.** В самых верхних из стратифицированных образцов 32 и 38 **красновато-коричневого суглинка (1,0–1,2 м)** среди костных остатков мелких млекопитающих доминирует копытный лемминг (табл. 1). Содоминирующие виды различны – узкочерепная полевка и полевка-экономка соответственно. Судя по схеме (рис. 6, статья Кадебской О.И. и др.), эти образцы взяты с разных сторон вскрытого стратифицированного шурфа. В списке общих определенных видов из этих образцов, кроме копытных леммингов, обнаружены остатки узкочерепной полевки, полевки-экономки, красно-серой полевки, сибирского лемминга, летучих мышей. Соотношения долей костных остатков этих видов весьма различны. Список видов второго образца шире и включает единичные зубы темной полевки, лесного лемминга, бурузубок. Ниже по разрезу (со стороны образца № 38) под отвалом № 6 был расположен образец породы № 36 (отвал), который по соотношениям костей многочисленных видов практически идентичен образцу № 38.

Слой **зеленоватого суглинка** в раскопе 2008 г. имеет мощность до 70 см. Образцы породы, взятые из верхней толщи **(1,2–1,5 м)** этих отложений (обр. № 25, 33, 35), типологически четко не объединяются. Если список обычных и многочисленных видов грызунов из этой части толщи можно считать практически идентичным, то соотношения долей костей этих видов отличаются. Четких доминантов и содоминантов не прослеживается. Отличительной особенностью данных отложений является многочисленность костных остатков полевки-экономки.

Таблица 1 (продолжение 2)

Порода, глубина	1,5–2,0 м, зеленоватый суглинок								2,0–2,2 м, светло-коричневая супесь	
Вид/ номер образца	3		4		5		23		16	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
<i>Microtus gregalis</i>	12	25,0	8	14,1	1	6,3	2	4,1	-	-
<i>Microtus oeconomus</i>	3	6,3	3	5,4	1	6,3	2	4,1	2	8,3
<i>Microtus agrestis</i>	7	10,3	8	10,7	2	12,4	14	14,3	9	29,1
<i>Microtus sp.</i>	64	-	55	-	9	-	43	-	25	-
<i>Arvicola terrestris</i>	11	8,2	13	8,9	8	12,4	26	10,3	1	4,2
<i>Dicrostonyx sp.</i>	23	14,6	10	3,6	-	-	9	4,1	-	-
<i>Lemmus sibiricus</i>	2	-	?	-	1	-	?	-	?	-
<i>Myopus schisticolor</i>	?	-	-	-	?	-	?	-	?	-
Lemmini gen	30	14,6	8	3,6	4	12,4	8	6,1	4	8,3
<i>Clethrionomys rufocanus</i>	2	4,2	4	5,4	2	12,4	1	2,0	?	-
<i>Clethrionomys ex gr. rutilus - glareolus</i>	2	4,2	7	10,7	?	-	14	12,2	3	12,5
<i>Clethrionomys sp.</i>	32	-	21	-	5	-	11	-	5	-
<i>Apodemus sylvaticus</i>	-	-	2	3,6	-	-	2	2,0	-	-
<i>Sorex minutus</i>	-	-	-	-	1	6,3	-	-	-	-
<i>Sorex araneus</i>	-	-	8	14,2	1	6,3	1	2,0	-	-
<i>Sorex tundrensis</i>	1	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sorex isodon</i>	-	-	-	-	1	6,3	-	-	-	-
<i>Sorex sp.</i>	-	-	-	-	1	6,3	3	4,1	-	-
<i>Talpa sp.</i>	-	-	2	3,6	-	-	2	4,1	-	-
<i>Ochotona sp.</i>	1	2,1	2	3,6	-	-	1	2,0	-	-
<i>Eptesicus nilssonii</i>	-	-	-	-	1	6,3	-	-	2	4,2
<i>Plecotus auritus</i>	1	2,1	2	3,6	-	-	2	4,1	-	-
<i>Myotis dasycneme</i>	1	2,1	-	-	1	6,3	-	-	-	-
<i>Myotis sp.</i>	-	-	1	1,8	-	-	2	4,1	4	16,7
Chiroptera	2	4,2	4	7,2	-	-	10	20,4	4	16,7
Всего / Суммарное количество максимально представленных одноименных зубов (100 %)	194	48	158	56	39	16	153	49	59	24

По сравнению с вышележащим слоем красно-коричневого суглинка в образцах верхней толщи зеленоватого суглинка обнаружены многочисленные остатки водяной полевки, несколько увеличивается доля темной полевки, в среднем долевое участие костей сибирского лемминга и лесных полевок остается на прежнем уровне, а костей копытного лемминга и узкочерепной полевки становится намного меньше. Несколько иная картина в нижней толще отложений зеленоватого суглинка (**1,5–2,0 м**). Объединяющим признаком большинства образцов из этой толщи (№ 4, 5, 23) можно признать относительную многочисленность костных остатков летучих мышей, среди которых преобладают ночницы и бурый ушан. Многочисленны остатки темной полевки, водяной полевки, лесных полевок, в среднем долевое участие костных остатков копытного лемминга, полевки-экономки, узкочерепной полевки – менее 10 %.

Как в верхней, так и в нижней части отложений слоя зеленоватого суглинка обнаружены кости лесной мыши, обыкновенной бурузубки. Из этой же толщи отложений получен образец № 3 – однако он резко выделяется по фаунистическим характеристикам. Образец № 31 (**1,5–1,7 м**), взятый из зеленоватого суглинка в проходе у камня, характеризуется высокой долей костей летучих мышей, а по долевному участию многочисленных и близких к многочисленным видов сходен с вышерасположенным образцом породы № 25.

Самый нижний из вскрытых стратифицированных отложений – слой **светло-коричневой супеси (2,0–2,2 м)**. В образце № 16 костных остатков мелких млекопитающих сравнительно мало. Среди них резко преобладают кости летучих мышей (особенно много мелких ночниц), темной полевки, среди прочих видов обнаружены – лесные полевки группы красная-рыжая, полевка-экономка, водяная полевка, лемминги трибы Lemmini gen., северный кожанок. В придонном слое отвала № 10 также сравнительно много костей летучих мышей (39,5 %), и окрас их одинаковый – светло-желтый. Кости грызунов как по долевному участию, так и по покрашенности весьма отличаются от такового в стратифицированном образце № 16, таким образом, образец № 10 является смешанным.

Таблица 2.

Количество и соотношение костных остатков млекопитающих (Rodentia, Insectivora, Lagomorpha, Chiroptera) в отвалах раскопа № 5 Е.П. Блинецова. Старый вход. Пещера Виашерская.

Порода Вид/ номер образца	Отвал, без описания породы						Отвал, придонный слой	
	1 г		1 д		2		10	
	N	%	N	%	N	%	N	%
<i>Microtus gregalis</i>	2	10	4	7,8	16	10,1	1	2,6
<i>Microtus oeconomus</i>	2	10	4	7,8	25	15,7	4	10,5
<i>Microtus agrestis</i>	2	10	4	5,9	16	6,9	5	7,9
<i>Microtus sp.</i>	6	-	23	-	136	-	61	-
<i>Arvicola terrestris</i>	11	10	24	13,7	30	5	5	2,6
<i>Dicrostonyx sp.</i>	11	20	30	23,5	92	15,7	14	7,9
<i>Lemmus sibiricus</i>	1	-	2	-	19	-	2	-
<i>Myopus schisticolor</i>	?	-	?	-	2	-	?	-
Lemmini gen	9	20	18	13,7	169	25	19	10,5
<i>Clethrionomys rufocanus</i>	2	10	9	17,6	3	1,9	5	13,2
<i>Clethrionomys ex gr. rutilus - glareolus</i>	1	5	1	2	13	8,1	2	5,3
<i>Clethrionomys sp.</i>	6	-	16	-	52	-	19	-
<i>Cricetus cricetus</i>	-	-	-	-	1	0,6	-	-
<i>Sorex araneus</i>	-	-	-	-	3	1,9	-	-
<i>Sorex tundrensis</i>	-	-	1	2	-	-	-	-
<i>Sorex caecutiens</i>	-	-	-	-	1	0,6	-	-
<i>Sorex isodon</i>	-	-	-	-	2	1,2	-	-
<i>Sorex sp.</i>	-	-	-	-	2	1,2	-	-
<i>Talpa sp.</i>	-	-	-	-	1	0,6	-	-
<i>Ochotona sp.</i>	-	-	1	2	1	0,6	-	-
<i>Lepus sp.</i>	-	-	1	2	2	0,6	-	-
<i>Eptesicus nilssonii</i>	1	5	1	2	1	0,6	2	5,3
<i>Plecotus auritus</i>	-	-	-	-	1	0,6	2	5,3
<i>Myotis sp.</i>	-	-	-	-	3	0,6	5	13,2
Chiroptera	-	-	-	-	4	2,5	6	15,7
Всего / Суммарное количество максимально представленных одноименных зубов (100 %)	54	20	139	51	595	160	152	38

Со стороны образца № 32 ниже по разрезу под отвалом выбран образец № 30 (коричневый грунт), в котором преобладают кости сибирского лемминга, содоминирующими видами являются копытный лемминг и полевка-экономка. По доминанту, субдоминантам, а также обычным по встречаемости костей (до 10 %) видам этот образец аналогичен отвалу, находившемуся сверху (обр. № 27). Оба этих образца весьма схожи по фауне с образцами № 2 и 11, 12, 13 из отвалов раскопок Е.П. Блинецова (рис. 5, статья Кадебской О.И. и др.).

По доминирующим видам близок к вышеперечисленным и образец № 15 (коричневатый суглинок). Во всех этих образцах из массы исследованных выбрано наибольшее количество костных остатков мелких млекопитающих. Общность фаунистических характеристик и сходные названия вмещающей породы позволяют

предположить фаунистический комплекс мелких млекопитающих, характерный для слоя 4 (коричневый суглинок) раскопа Е.П. Блинецова. Кроме названных доминирующего и субдоминирующих видов, в этих ископаемых фаунах присутствуют остатки узкочерепной полевки, темной полевки, водяной полевки, лесных полевок, единичны зубы лесной мыши, мышовки, обыкновенной бурозубки, тундрной бурозубки, средней бурозубки, равнозубой бурозубки, крота, пищухи, зайца, северного кожанка, бурого ушана, ночницы Брандта.

Таблица 2 (продолжение)

Количество и соотношение костных остатков млекопитающих (Rodentia, Insectivora, Lagomorpha, Chiroptera) в отвалах раскопа № 5 Е.П. Блинецова. Старый вход. Пещера Виашерская.

Порода Вид/ номер образца	Отвал, коричневый суглинок							
	11		12		13		15	
	N	%	N	%	N	%	N	%
<i>Microtus gregalis</i>	3	4,5	7	10,9	14	10,9	14	13,3
<i>Microtus oeconomus</i>	4	6,1	8	12,4	19	14,7	25	23,6
<i>Microtus agrestis</i>	7	6,1	4	4,6	7	4,7	2	1,9
<i>Microtus sp.</i>	51	-	77	-	158	-	132	-
<i>Arvicola terrestris</i>	16	7,7	16	3,1	26	4,7	15	3,8
<i>Dicrostonyx sp.</i>	29	16,7	37	16,9	88	14,7	79	15,1
<i>Lemmus sibiricus</i>	3	-	4	-	6	-	7	-
<i>Myopus schisticolor</i>	?	-	?	-	?	-	?	-
Lemmini gen	54	28,8	38	16,9	83	18,6	61	16,1
<i>Clethrionomys rufocanus</i>	6	4,5	4	4,6	23	9,3	22	13,3
<i>Clethrionomys ex gr. rutilus - glareolus</i>	5	6,1	10	9,2	10	4,6	10	7,5
<i>Clethrionomys sp.</i>	20	-	20	-	86	-	50	-
<i>Sicista sp.</i>	-	-	-	-	3	0,8	-	-
<i>Sorex araneus</i>	3	4,5	1	1,5	2	1,5	1	0,9
<i>Sorex tundrensis</i>	-	-	-	-	1	0,8	-	-
<i>Sorex isodon</i>	1	1,5	-	-	1	0,8	-	-
<i>Sorex sp.</i>	-	-	3	4,6	2	1,5	1	0,9
<i>Talpa sp.</i>	-	-	1	1,5	3	2,3	1	0,9
<i>Ochotona sp.</i>	2	1,5	2	1,5	2	0,8	2	0,9
<i>Lepus sp.</i>	2	1,5	-	-	1	0,8	-	-
<i>Eptesicus nilssonii</i>	-	-	-	-	1	0,8	-	-
<i>Plecotus auritus</i>	2	3	3	4,6	2	1,5	3	1,8
<i>Myotis brandtii</i>	-	-	-	-	1	0,8	-	-
<i>Myotis sp.</i>	3	4,5	2	3,1	2	1,5	-	-
Chiroptera	1	3	3	4,6	5	3,9	-	-
Всего / Суммарное количество максимально представленных одноименных зубов (100 %)	212	66	240	65	546	129	425	106

Отвалы № 1, 6 и образец № 39 (переходный слой) по фаунистическим характеристикам ископаемых мелких млекопитающих не удалось отнести ни к одной из выделенных групп.

Таким образом, совершенно очевидно, что среди представленных образцов материалов по комплексам костных остатков мелких млекопитающих можно условно выделить пять групп фаун и дать им только очень краткие отличительные особенности.

I группа (1,0–1,2 м, красновато-коричневый суглинок) – резкое доминирование костей копытного лемминга (>30 %);

II (1,2–1,5 м, зеленоватый суглинок) – многочисленность костных остатков интразональных видов – водяной полевки (> 15 %) и полевки-экономки (> 13,5 %);

III (1,5–2,0 м, зеленоватый суглинок) – явные доминанты не выделены, многочисленны (>10 %) кости темной полевки и летучих мышей (суммированный результат по все видам отряда);

IV (2,0–2,2 м, светло-коричневая супесь) – резкое доминирование костей темной полевки (> 29 %) и летучих мышей (>37 % – суммированный результат по все видам



отряда);

V (отвалы, коричневый суглинок) – доминирование костей сибирского лемминга (>16 %), содоминирование костей копытного лемминга (> 11 %) и полевки-экономки (> 12 %).

**Сравнительный анализ и хронология.** Входовая часть в пещеру, где проводились раскопки в 2008 г., во время формирования отложений, вероятно, представляла собой закрытый внутренний грот. Исходя из этого предположения, мы условно относим исследованные зоогенные отложения к внутриполостным, образование которых происходило за счет жизнедеятельности четвероногих хищников. Отсюда следует, что в таких отложениях весьма велика вероятность перемешивания разновозрастных остатков в результате их перекапывания самими же хищниками.

Вероятный возраст костных остатков «мелких млекопитающих» из слоев коричневого суглинка предварительно определен как конец невянского интерстадиала (по аналогии с уже известными фаунами пещер Александровско-Кизеловского района). Образцы коричневого суглинка из пещеры Виашерская подразделяются на два подтипа по фаунистическим характеристикам – в одной его части резко доминируют остатки копытного лемминга (обр. 32, 38, 36), а в другой (обр. 1, 2, 11, 12, 13, 27, 30, 33) роль доминанта принадлежит сибирскому леммингу, многочисленны и кости полевки-экономки, узкочерепной полевки, копытного лемминга. В суглинке второго подтипа четко прослеживается более богатый состав фауны «мелких млекопитающих». Их последовательность – пока проблемный вопрос. В стратифицированных отложениях на рис. 6 хорошо видно, что образцы с фауной первого подтипа лежат на породе зеленого суглинка. Однако подлежащий материал имеет явные следы переотложения и его фауны не выделяются в определенный тип. Похожие на ископаемые фауны коричневого суглинка, также имеющие «экскрементное» происхождение, были обнаружены в отложениях пещер Махневская-2 ( $24\,811 \pm 426$  лет ИЭМЭЖ-1376 – горизонт 9) и Долгого Камня-3. Нужно отметить, что, в отличие от этих отложений, в Виашерской пещере в образцах предположительно близкого возраста не обнаружены кости серого хомьика и степной пеструшки, возможно, это связано со сравнительно малым количеством выборки, не позволяющей обнаружить очень редкие виды. Полевка Миддендорфа представлена в изученных отложениях Виашерской только одним зубом – хотя в Махневской-2 и Долгого Камня-3 этот вид весьма обычен. Несмотря на многочисленный материал, на данный момент мы можем только предположить изменение соотношений многочисленных видов «мелких млекопитающих» в добыче четвероногих хищников брянского времени.

Очевидно, что на основании полученных данных из зеленоватого суглинка пещеры Виашерская четких фаунистических комплексов выделить невозможно. Вероятнее всего в данной толще отложений присутствуют остатки представителей близких хронологических периодов, аналогов которых (по соотношению костных остатков определенных видов «мелких млекопитающих») пока не обнаружено в пещерах Александровско-Кизеловского карстового района. Многочисленность костных остатков буроzubок, темных полевок и лесных полевок при сравнительно меньшем участии (чем в слое коричневого суглинка) костей копытного лемминга, сибирского лемминга и узкочерепной полевки указывает на более мягкий континентальный климат и залесенность территории. Этот слой, как и самый нижний (светло-коричневая супесь), мог образоваться как в период брянского межстадиала, так и в какой-либо другой относительно теплый период ранне-средневалдайского времени. Сравнительное обилие костей летучих мышей в данных слоях может служить индикатором увеличения их численности в благоприятных климатических условиях, но может и являться индикатором повышенной смертности представителей этого отряда во время зимовок в результате самых различных причин. В явно «загрязненном» отвальными отложениями образце № 39 обнаружен фрагмент коренного зуба дикобраза (*Hystrix* sp.). Коренной зуб дикобраза (*Hystrix* cf. *brachyura*) найден также в отвалах из нижних слоев (рис. 2). Костные остатки дикобраза *Hystrix brachyura* были обнаружены в толще отложений «теплого» грота пещеры Махневская

Ледяная. Есть предположения о принадлежности костей данного вида из этой пещеры к микулинскому времени [3, 7, 8].



Рис. 2. Коренной зуб дикобраза обнаруженный в отвалах из нижних слоев, фотография.

Фото Р. Socha.

### **Крупные млекопитающие**

Подавляющее большинство остатков крупных млекопитающих, как уже отмечалось, представлена мелкими фрагментами и не определимыми до вида. Изучение этих остатков показало, что на основании толщины стенок и структуры поверхности большую часть из них можно отнести к остаткам пещерного медведя. Результаты определения остатков приведены в табл. 3 и 5. Анализ видового состава показывает, что во всех образцах представлен почти исключительно большой пещерный медведь (*Ursus spelaeus*). Во всей выборке его остатки составляют 96 %. Остатки остальных видов единичны. Среди остатков медведя есть кости всех возрастных групп – от новорожденных до старых особей. Среди них преобладают изолированные зубы (табл. 4, 6). Доминирование костей пещерного медведя и наличие в их составе остатков особей всех возрастов позволяют интерпретировать этот комплекс как остатки особей, погибших во время зимней спячки. По видовому составу и составу костей пещерного медведя весь этот комплекс очень близок к комплексам костных остатков из слоев 4–6 раскопа № 5 Е.П. Блинецова [2].

Размеры зубов пещерного медведя приведены в таблицах 7–14. Но размеры выборок очень небольшие, что не позволяет провести сравнение с другими выборками. Можно только отметить, что их размеры попадают в пределы изменчивости размеров зубов пещерных медведей Урала [1].

### **Закключение**

Костные остатки млекопитающих из материалов раскопок 2008 г. в Старом ходе пещеры Кизеловская Вишерская принадлежат 15 видам грызунов, 6 – насекомоядных, 4 – рукокрылых, 2 – зайцеобразных, 7 – хищных, 2 – парнопалых, 2 – непарнопалых.

Большая часть изученных выборок костного материала содержит примеси из отвальных пород или являются смесью, состоящей из материала из последовательных разновременных слоев отложений пещеры.

Несмотря на наличие примесей в большей части изученных выборок костей мелких млекопитающих, очевидно, что все они принадлежат к одному типу – лемминговому фаунам позднего плейстоцена Приуралья и характеризуют умеренно прохладные условия невянского (ленинградского, Средняя Висла) интерстадиала.

Большая часть определенных костных остатков крупных млекопитающих принадлежит пещерному медведю (*Ursus spelaeus*). Кости остальных крупных животных представлены единичными находками.

Работа частично выполнена по Программе Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем» № 09-П-4-1001.

Таблица 3

Количество костных остатков млекопитающих (Сapivora, Artiodactyla, Perissodactyla) в отложениях раскола 2008 г. Старый вход. Пещера Виашерская

Глубина, порода	1,0-1,2 м, красноцветные коричневый суглинок		Отвал, без описания породы	1,2-1,5 м, коричнево-бурый суглинок	1,2-1,5 м, коричнево-бурый суглинок, переходящий в зеленоватый	1,2-1,5 м, коричнево-бурый суглинок	1,2-1,3 м, отвал, без описания породы		1,3-1,5 м, коричневый грунт	1,5-1,7 м, зеленоватый суглинок	1,2-1,5 м		Зеленоватый суглинок
	32	38					24	27			25	35	
Вид/образец	32	38	6	36	37	39	44	24	27	30	31	25	33
<i>Alorex</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Lagopus</i>	3	1	14	8	11	29	6	1	26	19	18	20	12
<i>Ursus spelaeus</i>	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Panthera spelaea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rangifer tarandus</i>	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bison priscus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-

Таблица 3 (продолжение)

Глубина, порода	1,45 м		1,5 м	1,5-1,6 м	1,6-1,7 м	1,65 м	1,7 м	1,7 м	1,78 м	1,9 м	1,5-2,0 м, зеленоватый суглинок			1,5-2,0 м, отвал, без описания породы	2,0-2,2 м, светло-коричневая супесь
	17	28									3	4	5		
Вид/образец	17	28	49	48	22	18	19	20	21	21	3	4	9	23	7
<i>Canis lupus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ursus arctos</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ursus spelaeus</i>	1	2	4	4	1	1	1	1	1	1	2	19	9	6	3
<i>Mustela erminea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Equus sp.</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 4

Количество зубов *Ursus sp.* в в отложениях раскопа 2008 г. Старый вход. Пещера Внашерская

Глубина, порода	1,0–1,2 м, краснозато-коричневый суслинок		Отвал, без описания породы	1,2–1,5 м, коричнево-бурый суслинок	1,2–1,5 м, коричнево-бурый суслинок, переходящий в зеленеватый	1,2–1,5 м, коричнево-бурый суслинок	1,3–1,5 м, коричневый грунт	1,5–1,7 м, зеленеватый суслинок	1,2–1,5 м		1,3–1,5 м	
	32	38							35	25	33	34
Постоянные	зуб/образец породы		6	36	37	39	44	30	31			
	I, i	-	1	-	1	2	-	-	-	-	1	-
	C, c	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	2
	P4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	M2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Молочные	m1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	D4	-	1	1	-	1	-	1	3	2	4	-
	d4	-	2	-	1	1	1	-	3	-	1	-
	I, I, C, c	2	1	6	2	25	5	15	10	16	12	2
	Всего	3	2	8	5	29	6	16	16	18	19	3

Таблица 4 (продолжение)

Глубина, порода	1,45 м		1,5 м	1,5–1,6 м	1,7 м	1,9 м	1,5–2,0 м зеленеватый суслинок				1,5–2,0 м отвал, без описания породы		2,0–2,2 м, светло-коричневая суесь	
	17	28					4	5	9	23	8	7		
Постоянные	№ образца													
	I, i	-	-	-	-	1	-	-	-	2	2	-		
	C, c	1	1	1	-	-	-	-	1	-	1	-		
	P4	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-		
	M2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
	p4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-		
Молочные	m1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
	m2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-		
	m3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-		
	D4	-	-	-	-	-	1	-	-	4	-	-		
	d4	-	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-		
	I, I, C, c	-	-	-	-	-	17	8	1	33	1	1		
Всего		1	1	1	1	2	1	9	1	45	7	2		

Таблица 5

Количество костных остатков млекопитающих  
(Carnivora, Artiodactyla, Perissodactyla)  
в отвалах раскопа № 5 Е.П. Блинецова. Старый вход. Пещера Виашерская

Глубина, порода	Отвал, без описания породы		Отвал, коричнево-бурый суглинок					1,0–1,5 м отвал, без описания породы	Отвал	
Вид/образец	1	2	11	12	13	14	15	42	46	47
<i>Canis lupus</i>	1		-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ursus spelaeus</i>	27		9	8	17	1	9	9	14	120
<i>Mustela nivalis</i>		1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rangifer tarandus</i>	1		-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Bison priscus</i>			-	-	-	-	-	-	-	4
<i>Coelodonta antiquitatus</i>			-	-	-	1	-	-	-	-

Таблица 6

Количество зубов *Ursus sp.* в отвалах раскопа № 5 Е.П. Блинецова. Старый вход.  
Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

	Глубина, порода	Отвал, коричнево-бурый суглинок				1,0–1,5 м, отвал без описания породы	Отвал, без описания породы	
Постоянные	Зуб/образец породы	11	12	13	15	42	46	47
	I, i	-	-	3	-	5	2	28
	C, c	-	-	-	-	-	-	9
	P4	-	-	2	-	1	-	2
	M1	-	-	-	-	1	1	4
	M2	-	-	-	-	-	-	1
	p4	-	-	-	1	-	1	1
	m1	-	-	-	1	-	1	2
	m2	-	-	-	-	-	-	3
	m3	-	-	1	-	-	-	4
Молочные	D4	-	-	1	1	-	-	6
	d4	1	-	1	-	-	-	10
	I, I, C, c	6	8	9	6	1	1	46
Всего		7	8	17	9	7	6	116

Таблица 7

Размеры четвертого верхнего премоляра (P4) *Ursus spelaeus*.  
Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм			
			1	2	3	4
1	47	dex	20,0	13,2	14,2	13,9
2	47	sin	-	-	-	14,6
3	13	dex	22,2	13,9	15,0	14,6
4	4	sin	19,7	13,3	13,4	13,1
5	42	sin	18,6	12,8	13,1	13,3

Таблица 8

Размеры первого верхнего моляра (M1) *Ursus spelaeus*. Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм					
			1	2	3	4	5	6
1	42	sin	28,1	13,7	14,4	10,0	10,1	19,9
2	33	dex	-	-	-	9,4	9,6	-
3	47	dex	28,4	12,9	15,5	9,4	10,0	20,0
4	47	dex	31,1	15,0	16,1	10,9	10,2	-
5	47	sin	28,3	14,1	14,2	10,6	9,7	19,3
6	47	dex	-	-	-	10,6	-	-



Таблица 9

Размеры второго верхнего моляра (M2) *Ursus spelaeus*. Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм				
			1	2	3	4	5
1	8	dex	37,9	11,7	17,6	18,9	13,9
2	47	dex	-	-	11,7	-	19,8
3	34	sin	37,9	11,8	9,3	19,3	16,0

Таблица 10

Размеры четвертого нижнего премоляра (p4) *Ursus spelaeus*.  
Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм	
			1	2
1	15	dex	17,5	11,4
2	23	sin	13,8	8,4
3	46	dex	15,4	10,5

Таблица 11

Размеры четвертого нижнего премоляра (p4) *Ursus arctos*.  
Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм	
			1	2
1	23	sin	12,1	6,3

Таблица 12

Размеры первого нижнего моляра (m1) *Ursus spelaeus*. Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм						
			1	2	3	4	5	6	7
1	46	dex	-	18,4	-	-	11,7	-	-
2	47	sin	32,3	18,4	4,4	4,6	12,3	14,3	11,6
3	8	sin	-	-	-	-	-	13,1	10,6

Таблица 13

Размеры второго нижнего моляра (m2) *Ursus spelaeus*. Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм						
			1	2	3	4	5	6	7
1	47	Dex	29,5	19,4	16,8	10,6	14,5	15,8	15,4
2	47	Dex	-	-	-	-	-	-	-
3	47	Sin	-	-	-	12,3	13,3	-	17,2
4	49	Dex	26,8	16,2	13,6	10,5	14,2	15,4	16,2

Таблица 14

Размеры третьего нижнего моляра (m3) *Ursus spelaeus*. Пещера Виашерская. Раскоп 2008 г.

№/№	Образец	dex/sin	Промеры, мм			
			1	2	3	4
1	49	sin	23,0	8,6	17,2	14,9
2	47	sin	28,1	11,3	19,4	16,7
3	47	sin	27,0	12,8	19,5	17,4

Несколько образцов *Ursus spelaeus* (табл. 15) были отобраны для радиоуглеродного и ДНК анализов, но остались не учтены и не промеряны.

Таблица 15

Образцы *Ursus spelaeus*, отобранные для радиоуглеродного и ДНК анализов

№ образца	Зуб	Глубина, м	Порода
34	C <sub>1</sub> (фрагм.)	-1,3-15	Зеленоватый суглинок
32/1	I <sub>2</sub>	-1,0-1,2	Красно-коричневый суглинок
21	I <sub>2</sub>	-1,9	Зеленоватый суглинок
44	I <sub>2</sub>	-1,2-1,5	Коричнево-бурый суглинок
37/1	P <sub>4</sub>	-1,2-1,5	коричнево-бурый суглинок, переходящий в зеленоватый
37/2	M <sub>1</sub>	-1,2-1,5	
37/3	I <sub>3</sub>	-1,2-1,5	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников Г.Ф. Медвежья (Carnivora, Ursidae). СПб.: Наука, 2007. 541 с. (Фауна России и сопредельных стран. Нов. сер., № 147. Млекопитающие. Т. I, вып. 5).
2. Косинцев П.А., Воробьев А.А. Остатки крупных млекопитающих из местонахождения Виашер на Среднем Урале // Плейстоценовые и голоценовые фауны Урала. Челябинск, 2000. С. 105–122.
3. Косинцев П.А., Подопригора И.Н. Находки дикобраза *Hystrix vinogradovi* и гималайского медведя *Ursus thibetanus* в позднем плейстоцене Среднего Урала // Териофауна России и сопредельных территорий (VII съезд Териол. о-ва): материалы Междунар. совещ., 6–7 февраля 2003 г. М., 2003. С.175.
4. Кузьмина И.Е. Некоторые данные о млекопитающих Среднего Урала в позднем плейстоцене // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. М., 1975, № 43. С. 63–71.
5. Радиоуглеродная хронология палеолита Восточной Европы и Северной Азии. Проблемы и перспективы / под ред. А.А. Сеницына и Н.Д. Праслова. СПб., 1997. 139 с.
6. Смирнов Н.Г., Головачев И.Б., Бачура О.П. и др. Сложные случаи определения зубов грызунов из отложений позднего плейстоцена и голоцена тундровых районов Северной Евразии // Материалы по современному состоянию фауны севера Западной Сибири. Челябинск, 1997. С.58–89.
7. Фадеева Т.В., Смирнов Н.Г. Мелкие млекопитающие Пермского Предуралья в позднем плейстоцене и голоцене. Екатеринбург: Голицынский, 2008. 171 с.
8. Baryshnikov G. Pleistocene small porcupine from the Ural Mountains, Russia, with note on taxonomy of *Hystrix vinogradovi* (Rodentia, Hystriidae) //Russian J. Theriol. 2003. Vol.2, № 1. P. 43–47.
9. Kosintsev P. Late Pleistocene large mammal faunas from the Urals // Quaternary International. 2007. Vol.160. P. 112–120.

**ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ ФАУНЫ В  
КИЗЕЛОВСКОЙ (ВИАШЕРСКОЙ) ПЕЩЕРЕ: АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
АСПЕКТЫ**

E.V.Churilov  
*Department of archeology of Perm region museum*

**LATE PLEISTOCENE SITE IN THE KIZELOVSKAYA (VIASHERSKAYA)  
CAVE: ARCHAEOLOGICAL ASPECTS**

**Summary**

The results of archaeological studying of Late Pleistocene deposits from the Kizelovskaya (Viasherskaya) Cave, as a part of multidisciplinary studying, are reported. Due to the typological analysis of Upper Palaeolithic artefacts the time of human occupation in the cave is attributed to the Late Glacial Transition (~ 19-15 ky BP). The question of Mousterian inhabitation of the cave is still undecided.

Предметы археологии из Кизеловской (Виашерской) пещеры известны только из сборов Е.П. Близнецова. По его записям из архива известно, что в ходе раскопок в Кизеловской пещере и на территории, прилегающей к ней, собрано более 800 предметов. Незадолго до своей смерти Е.П. Близнецов составил единую опись всех найденных в Кизеловской пещере предметов (хранится в архиве г. Александровска Пермского края). В сведениях, имеющихся в данной «описи», имеется следующая запись (сохранена орфография оригинала):

«...кремневая мастерская по изготовлению орудий. На участке дороги, проходящей рядом с запада п. Виашер. Участок начинается кровлей с западного отвеса пещеры под углом 10 градусов, затем идет по склону под углом 20 градусов и кончается шоссеиной дорогой г. Кизел, всего протяжение 40 м шириной 5–6 м. Залегало в глине на глубине 0,1–0,4 м в количестве 800 предметов: отщипы, пластинки призматические, прямые на плоских кусках, концевые скребки – 3 штуки, микроотщипы долотовидного орудия, 2 наковальни 13 x 5 x 2,5 см и 14 x 7 x 5 см на гальке сливного песчаника в центре мастерской (на дорожной колее)»

В ходе осмотра материалов в Александровском народном музее из пещерного памятника пещера Кизеловская (Виашер) в 2007 г. нам удалось найти и описать только 16 предметов. На момент первоначального осмотра предметы были смонтированы при помощи стальной проволоки на картонный планшет с указанием: «Виашерская (Кизеловская) пещера. 10 тыс. лет назад». На планшете имелись следующие предметы:

1. Нуклевидный кусок на куске окремненного известняка светло-серого цвета. Имеет негативы от снятия 4 отщепов. На предмете имеется маркировка, нанесенная черной тушью: «Те-41» (рис. 1–1).

2. Нуклеус одноплощадочный на известковом стяжении с окремнением. Имеет негативы от снятия двух пластин и двух крупных отщепов (рис. 1–2).

3. Нуклеус многоплощадочный на расколотой кремневой конкреции темно-серого, почти черного цвета. Имеет негативы от снятия отщепов (рис. 1–3).

4. Нуклеус грубоподпризматический двухплощадочный на небольшой кремневой гальке темно-серого, почти черного цвета. Имеет негативы от снятия пластинчатых отщепов. На одной площадке снятия имеются негативы от ортогонального снятия пластинчатых отщепов.

5. Нуклеус грубоподпризматический одноплощадочный на куске конкреции кремня темно-серого цвета. Имеет негативы от снятия отщепов и пластинчатых отщепов. На предмете имеется маркировка, нанесенная черной тушью: «Г–О» (рис. 1–4).

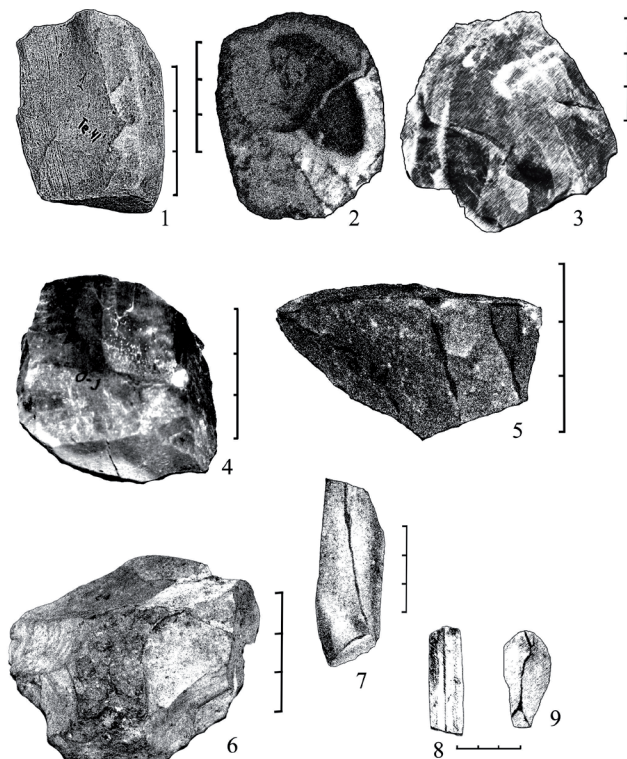


Рис. 1. Археологические находки, собранные Е.П. Близнцовым: 1 – нуклеидный кусок, 2–6 – нуклеусы, 7–9 – вторичные ребристые сколы.

Материалы из фондов Александровского народного музея, размеры указаны в сантиметрах.

6. Нуклеус грубоподпризматический одноплощадочный на куске конкреции кремня серого цвета с известковой коркой. Имеет негативы от снятия нерегулярных пластин и пластинчатых отщепов.

7. Нуклеус подпризматический одноплощадочный на куске серого полупрозрачного кремня. Имеет негативы от снятия отщепов. На предмете имеется маркировка, нанесенная черной тушью: «Рб-42» (рис. 1-5).

8. Нуклеус дисковидный односторонний на сколе с куса осадочной породы светлого серо-коричневого цвета. Имеет негативы от снятия отщепов и пластинчатых отщепов (рис. 1-6).

9. Нуклеус одноплощадочный на куске конкреции кремня серого цвета со светлой известковой желвачной коркой. Имеет негативы от снятия нерегулярных пластин. На предмете имеется маркировка, нанесенная черной тушью: «77 (?)–В-21» (рис. 1-7).

10. Скол вторичный краевой с ортогонального нуклеуса на конкреции серого кремня со светлой известковой желвачной коркой. Имеет фрагменты негативов от снятия отщепов и пластинчатых отщепов. Ударная площадка была подготовлена путем скалывания желвачной корки (сбита не до конца). На предмете имеется маркировка, нанесенная черной тушью: «Те-41», а также нанесенную синей шариковой ручкой цифру «19».

11. Вторичный продольный скол с нуклеуса на конкреции кремня серого цвета. Имеет негативы от снятия пластинчатых отщепов и отщепов.

12. Вторичный продольный скол с нуклеуса (подпризматического?) на конкреции кремня серого цвета со светло-коричневой желвачной известковой коркой. Имеет негативы от снятия пластинчатых отщепов. Фактически, расколотый вдоль нуклеус.

13. Вторичный продольный скол с одноплощадочного нуклеуса на конкреции кремня серого цвета со светло-коричневой желвачной известковой коркой. Имеет негативы от снятия правильных ножевидных пластин. На предмете имеется маркировка, нанесенная синей шариковой ручкой цифра «1» (рис. 1–8).

14. Вторичный продольный скол с одноплощадочного нуклеуса на куске окремненной осадочной породы светло-коричневого цвета. Имеет негативы от снятия отщепов. На предмете имеется маркировка, нанесенная черной тушью: «Q–a–9».

15. Вторичный продольный скол с одноплощадочного нуклеуса на куске окремненной осадочной породы светло-коричневого цвета. Сохранилась часть желвачной корки. Имеет негатив от снятия нерегулярной конвергентной пластины (рис. 1–9).

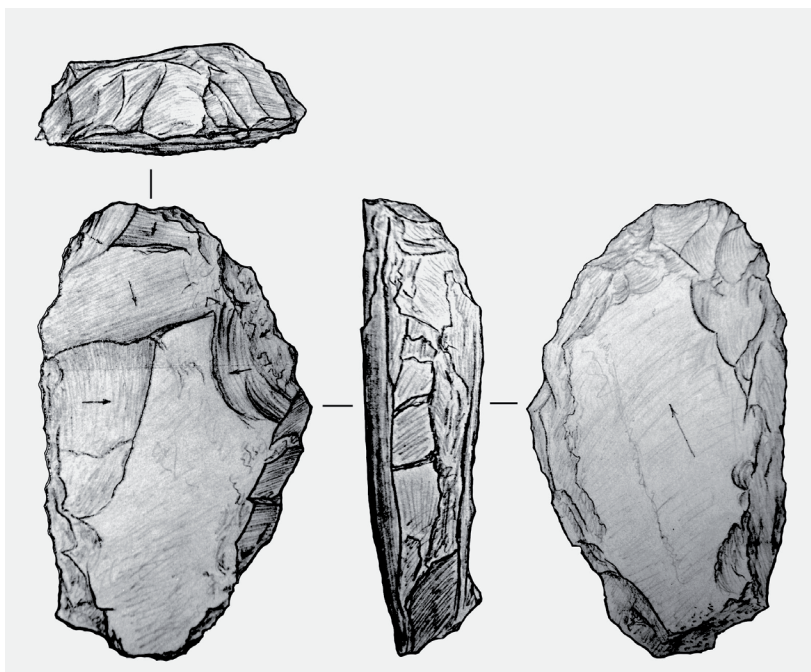


Рис. 2. Орудие из слоя зеленоватой супеси, навес старого входного грота Кизеловской (Виашерской) пещеры. Сводка карандашных рисунков Е.П. Блинецова. Масштаб неизвестен

16. Скол с куса окремнелой осадочной породы светло-серого цвета. Имеет один негатив от снятия нерегулярной пластины на латерали в проксимальной части, возможно, случайного характера, и несколько долотовидных сколов, вероятнее всего, позднего естественного происхождения.

В целом, весь материал сборов Е.П. Блинецова, помещенный на планшете, обозначенный как находки из Кизеловской (Виашерской) пещеры и представленный в коллекции Александровского народного музея, демонстрирует технику первичного раскалывания, основанную на нуклеусах объемного расщепления (подпризматических) при наличии плоских форм. Расщепление было направлено на получение пластин укороченных пропорций. Данная техника имеет аналогии на следующих памятниках



верхнего палеолита Пермского Прикамья: стоянке им. Талицкого (Коллекция № 19498, хранится в фондах ОА ПКМ) (абсолютная дата –  $18700 \pm 200$  лет назад (ИГАН-1907)) и III-м слое грота Большой Глухой на р. Чусовой [3], а также на стоянках Окуловского острова [4, 5] и Драчевском местонахождении [3] на р. Кама, относящихся к началу позднего валдая. По результатам сравнительно-типологического анализа материал сборов Е.П. Близнцова в Кизеловской (Виашерской) пещере предварительно может быть датирован 19-15 тыс. лет от наших дней, т.е. позднеледниковьем (LGT). Имеющееся в архиве Е.П. Близнцова указание на место нахождения подобных предметов «кремневой мастерской» («в глине на глубине 0,1–0,4 м») по данным типологического анализа коррелирует со слоем 3 раскопа № 5, который имеет дату  $16\,900 \pm 115$  СОАН-5231, что подтверждает результаты технико-типологического анализа.

В архиве Е.П. Близнцова имеется также указание на предмет, найденный, исходя из описания обстоятельств находки, в слое зеленой супеси. Данный слой залегал, под слоями 1-3 раскопа № 5. Судя по карандашным рисункам, данный предмет (рис. 2) с одинаковой долей вероятности может относиться, как ко времени среднего Валдая, так и ко времени существования памятников, относящихся ко времени существования памятников типа стоянки им. Талицкого, в составе которых присутствуют орудия макролитического облика.

Таким образом, посещение Виашерской пещеры неандертальским человеком остается под вопросом, так как не вполне понятны условия залегания данного предмета.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косинцев П.А., Воробьев А.А. Остатки крупных млекопитающих из местонахождения Виашер на Среднем Урале // Плейстоценовые и голоценовые фауны Урала. Челябинск, 2000. С. 105–122.
2. Мельничук А.Ф., Павлов П.Ю. Новое палеолитическое местонахождение в Среднем Прикамье // Археологические памятники Северного Приуралья (МАЕСВ. Вып. 9). Сыктывкар, 1985.
3. Павлов П.Ю. Палеолитические памятники Северо-Востока европейской части России. Сыктывкар, 1996.
4. Чурилов Э.В. Отчет об археологической разведке в Оханском районе (в приустьевой части р. Очер) Пермской области. Пермь, 2000. Хранится в архиве ИА РАН.
5. Чурилов Э.В., Коренюк С.Н. Новые охотничьи стоянки эпохи палеолита Окуловского острова в Оханском районе Пермской области. // Обороинские чтения (материалы археологической конференции). Пермь, 2002. Вып. 2.

THE ARTIFICIAL UNDERGROUND SPACES

<sup>1</sup>Р.А. Васин, <sup>2</sup>Д.С.Казадаев, <sup>3</sup>О.Я.Червяцова

<sup>1</sup>ГУ «Самарская областная поисково-спасательная служба»

<sup>2</sup>Самарский Государственный университет

<sup>3</sup>ФГУ «Государственный природный заповедник Шульган-Таш», Башкирия

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ  
ПЕЩЕРЫ СОКСКАЯ 1/3 (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

<sup>1</sup>R.A. Vasin, <sup>2</sup>D.S. Kazadaev, <sup>3</sup>O.Y. Chervyatsova

<sup>1</sup>Rescue and Recovery Service of the Samara Region

<sup>2</sup>Samara State University

<sup>3</sup>Shulgan-Tash National Park, Bashkiria

CONDITION AND PROSPECTS OF RESEARCH OF THE SOKSKY 1/3  
ARTIFICIAL CAVE (SAMARA REGION)

Summary

In article we considered a current state and prospects of researches of the Soksky 1/3 Artificial Cave. Also we estimated a possible increment of the studied cave's extent and volume at the expense of investigation of the blocked parts and the karstic cavities that have been opened by outputs. This article contains the information about other kinds of researches in the cave (such as microclimatic, biospeleological, mineralogical, radiating, etc.), that have been made by different researchers at various times.

Сокская группа искусственных пещер (Сокские штольни) расположена в Красноглинском районе г. Самары, в массиве горы Тип-Тяв Сокольных гор. Свою историю эти искусственные пещеры начали как подземная горная выработка химического чистого фузулинового известняка гжельского яруса верхнего карбона (Усть-Сокское месторождение Сокского карьероуправления УПСМ Куйбышевского СМХ). Согласно имеющимся у нас архивным и опросным сведениям разработка месторождения подземным способом осуществлялась с 1945 по 1960 г. В конце 1960-х гг. разработка месторождения была продолжена открытым способом.

Массив Сокольных гор расположен на левобережье р. Волги в геоморфологической провинции высокого Заволжья. Он представляет собой плоскую возвышенность, расчлененную эрозионной сетью оврагов, балок, русел временных водотоков. Высоты Сокольных гор составляют от 200 до 282 м над уровнем моря. Горный характер рельефа и наибольшая его расчлененность характерна для прибрежных склонов массива. Сокольи горы сложены осадочными породами палеозойского возраста (каменноугольный и пермский периоды) [7].

Геологические условия залежи продуктивной толщи полезных ископаемых (слабонаклонный пласт мощностью до 8 м) предопределили применяемый метод ее выработки. Сокские штольни разрабатывались камерным методом с регулярным прямолинейным расположением изолированных столбов (целиков) [15]. В плане полость представляет собой ортогональную систему взаимно пересекающихся галерей (штолен и штреков) средней шириной 5 и высотой 4 м, усложненную горизонтально и вертикально ориентированными флукутациями (несбойки по уровню и по направлению, изогнутые галереи и т.д.). Горная выработка имела хорошо развитую промышленную, транспортную и коммуникационную инфраструктуру, элементы которой располагались как на поверхности, так и внутри подземной полости. К ним относились: узкоколейная подземная железная дорога, линии электропередач,

осветительная сеть, крепеж, пневмопроводы, информационные таблички и т.д. Многочисленные остатки этих конструкций можно наблюдать и по сей день.

На основании данных имеющихся у нас архивным материалов (маркшейдерская съемка) на момент консервации (18.01.1960) общая площадь выработки составляла 0,5 км<sup>2</sup> (без учета целиков), а протяженность галерей – 52 км. Объем изъятной породы составил около 1 млн. м<sup>3</sup>. Впоследствии, в процессе открытой разработки месторождения, часть подземной системы была «съедена» карьером, часть – нарушена в результате дестабилизации поля горного давления при уничтожении барьерных целиков. Искусственная пещера была разбита на несколько отдельных полостей:

*Пещера Сокская-1* была обнаружена и расконсервирована в 1995 г. экспедицией спелеоклуба «Жигули» под руководством С. Боброва. В первые годы посещений наибольший вклад в ее исследование внесли самарские спелеологи: Н. Пудовкин, А. Метелкин, А. Руденко, М. Бортников, В. Логинов и др. Ими были составлены первые топографические карты и абрисы, создана сеть инструментально увязанных реперных точек. В 2001 г. российско-украинской группой спелестологов под руководством И. Грека (клуб «Поиск», Одесса), была составлена и впервые опубликована полуинструментальная магнитная съемка пещеры [5]. Общая протяженность закартированной части составила 21 950 м.

*Пещера Сокская-2* была обнаружена А. Руденко в 1998 г. Ее полуинструментальное топографическое картирование было выполнено в 2000 г. П. Якубсоном, В. Логиновым, В. Козимировым; протяженность пещеры составила 1 385 м.

*Пещера Сокская-3* была обнаружена Р. Титовым в 2001 г. По материалам полуинструментальной топографической съемки, выполненной группой под руководством П. Якубсона в 2003 г. ее протяженность составила 1 940 м.

*Пещеры Сокская-4 и Сокская-6* были изучены П. Якубсоном и Т. Курбатовой в 2003 г. Их суммарная длина составила по 36 м.

*Пещера Сокская-8* протяженностью 10 м была расконсервирована и изучена в 2006 г. П. Якубсоном и О. Червяцовой. В массиве, вмещающем Сокские штольни, также имеется сеть геологоразведочных шурфов 1980-х годов (максимальной глубиной до 10 м).

В 2003 г. был разобран глыбовый завал и произведено объединение пещер Сокская-1 и Сокская-3. В 2005–2006 гг. в обвальных районах было исследовано около 1 км галерей, и протяженность пещеры Сокская 1/3 возросла до 25 000 м.

Подземная выработка пересечена сетью вертикальных тектонических трещин, ориентированных по четырем системам. Часть из них инициирует заложение карстовых полостей. Наибольшая естественная пещера, вскрытая выработкой и изученная в 1998 г., имеет протяженность 30 м.

Наибольшей перспективой на обнаружение продолжений пещеры обладают обвальные части, примыкающие к карьеру (южная часть пещеры) и к бровке склона горы (северная часть). По нашим оценкам, здесь может быть разведано еще около 3000–4000 м галерей. К сожалению, эти работы сопряжены со значительными трудностями и риском, так как кровля в этих районах неустойчива. Имеется также перспектива обнаружения естественных пещер, вскрытых выработкой.

Среди динамических параметров подземной среды наибольшей изученностью обладают ее микроклиматические характеристики. Первая площадная температурная съемка пещеры Сокская-1 была выполнена М.П. Бортниковым в 2000 г. [2]. В дальнейшем температурный и влажностный режимы пещеры изучались В.А. Букиным, О.Я. Червяцовой и др. [4, 11]. Особые успехи в этом направлении были достигнуты В.А. Букиным – на основании более чем 30 групп температурных профилей, снятых в 2002–2006 гг., были выявлены закономерности пространственного распределения значений температур их временной динамики. В частности, было установлено, что распределение значений температур в ближней части штолен, имеющих прямое сообщение с поверхностью, имеет экспоненциальный вид («уравнивающая» зона); средняя температура воздуха в дальних частях составляет 6,0 °С.

Этим же автором было детально изучено распределение и динамика гамма-

активности внутри штолен [4] и предложены физические модели термодинамических процессов во время техногенных пожаров [3].

Технологические аспекты разработки Сокских штолен подробно рассмотрены в работе П.Ю. Якубсона [15]. Данные мониторинга современных динамических процессов, связанных с воздействием антропогенных и естественных факторов (обвалы, изменения гидрологического режима, техногенные пожары, рекреационная нагрузки и др.), опубликованы в 2004 г. О.Я. Червяцовой [11]. Выявлено и описано 7 типов современных динамических процессов, изменяющих облик пещеры.

Данные по отложениям пещеры приводятся в работах Н.Е. Пудовкина [9], О.Я. Червяцовой [11, 16]. Ими описывается морфология вторичных водно-хемогенных отложений (сталактиты, коры, пещерный жемчуг и др.) и сезонные снежно-ледяные образования.

К сожалению, одним из наиболее слабо изученных элементов подземной экосистемы является ее флора и фауна. Данные по рекогносцировочным биоспелеологическим исследованиям, проведенным под руководством В.П. Вехника (Жигулевский государственный заповедник) в 1996–1997 гг., были опубликованы А.В. Метелкиным [6]. Во время обследования были обнаружены 4 вида рукокрылых, относящихся к семейству гладконосых (*Vespertilionidae*), из беспозвоночных отмечены ногохвости (*Collembola*).

В 2007 г. под руководством Ш.Р. Абдуллина (Башкирский государственный университет) было произведено изучение альгофлоры пещеры; по результатам исследований имеется публикация [8]. В результате анализа собранного материала было выявлено 20 видов и внутривидовых таксонов цианобактерий и водорослей, относящихся к 3 отделам, 3 классам, 7 порядкам, 9 семействам и 17 родам. Доминировали представители отдела *Cyanoprokaryota*, класса *Cyanophyceae*, порядка *Chlorococcales*, семейств *Microcystaceae*, *Nostocaceae* и *Bacillariaceae*, родов *Phormidium*, *Nostoc* и *Nitzschia*.

Также известно несколько работ, посвященных оценке ресурсного потенциала штолен, вопросам его охраны и использования [2, 11, 12] и др.

Очевидно, мы имеем дело с одной из наиболее изученных искусственных пещер России. Но в то же время, как показывает практика, имеются многочисленные компоненты подземной среды, которые еще ждут своего исследователя. Продолжению начатых работ в значительной мере препятствуют отсутствие материальной поддержки, делающее невозможным применение высокотехнологичных методов исследований, и ошутимая нехватка специалистов и энтузиастов. Надеемся, что эти проблемы со временем будут решены.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников М.П. Сокские штольни – уникальный памятник природы и истории // Туризм + Культура. Самара, 2002.
2. Бортников М.П. Характеристика температуры воздуха самарских пещер // Спелеология Самарской области. Вып. 3. Самара, 2004.
3. Букин В.А. Анализ событий в Сокских штольнях 1–5 мая 1999 года // Спелеология Самарской области. Самара, 2004. Вып. 2.
4. Букин В.А. К вопросу о микроклимате Сокских штолен // Спелеология Самарской области. Самара, 2007. Вып. 4.
5. Грек И. Украинско-российская совместная экспедиция по изучению искусственных пещер // Свет. 2002. №1–2 (22–23).
6. Метелкин А.В. Биоспелеологические исследования Самарской области // Спелеология Самарской области. Самара, 1998. Вып. 1.
7. Милановский Е.В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М.; Л., 1940.
8. Пидченко М.С., Абдуллин Ш.Р., Червяцова О.Я. Особенности экологии цианобактерий и водорослей в антропогенной пещере Сокская 1/3 // Проблемы

региональной экологии в условиях устойчивого развития: матер. Всерос. науч.-практ. конф. Киров, 2007. С. 115–118.

9. Пудовкин Н.Е. Натечно-капельные образования в Сокских штольнях // Спелеология Самарской области. Самара, 2003. Вып. 2.

10. Червяцова О.Я. Водно-хемогенные отложения искусственных пещер Сокские штольни (Самарская область) // Минералогия техногенеза. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006.

11. Червяцова О.Я. Сокская группа искусственных пещер. Проблемы изучения, охраны и использования // Спелеология Самарской области. Самара, 2004. Вып. 3.

12. Червяцова О.Я. Спелеоресурсы Самарской области. Проблемы их оценки, использования и охраны // Кунгурская ледяная пещера. 300 лет научной и туристической деятельности: матер. междунар. науч.-практ. конф.. Кунгур, 2003.

13. Червяцова О.Я., Симак С.В. Сокские штольни, как потенциальный туристический объект // Спелеология Самарской области. Самара, 2007. Вып. 4.

14. Якубсон П.Ю. Технологические аспекты разработки штолен Ширяевской группы на примере Сокских // Спелеология Самарской области. Самара, 2004. Вып. 2.

15. Chervyatcova O.Ya. Caves glaciation of Samara region (Russia) // Glacier Caves and Glacier Karst in High Mountains and Polar Regions /ed. B.R. Mavlyudov / M.: Institute of geography of the Russian Academy of Sciences, 2005.

**А.А. Гунько**

***Набережночелнинская городская спелеосекция***

## **АНТОНОВСКИЙ ГИПСОВЫЙ РУДНИК**

---

**A.A. Gunko**

***Speleoclub of Naberezhnye Chelny***

## **ANTONOVSKI GYPSUM MINE**

### **Summary**

Gypsum deposit of Antonovka is placed in 46 km to the south of Kazan. The deposit has been working since the beginning of the XIX century. The main underground works had been carried out from 1928 to 1953 years. From the year of 2008 the mines are investigated by speleologists.

Антоновское гипсовое месторождение располагается к северу от с. Антоновка Камско-Устьинского района Республики Татарстан в 46 км к югу от г.Казани на правом берегу р. Волги (Куйбышевское водохр.). Продуктивная толща гипса приурочена к отложениям верхнеказанского подъяруса перми и характеризуется чередованием пластов гипса и доломитов, реже песчаников. На месторождении выделено 4 продуктивных пласта, из которых добычей было охвачено два: пласт II – «семиаршинник» (гипс светло-серый, кристаллический, мощностью 4,5 м); пласт IV – «головка» (гипс чистый с розоватым оттенком, мощностью ~0,9 м).

Месторождение активно разрабатывалось уже в XIX в. В сводке Горного департамента от 1894 г. указывается, что жители Антоновки занимались ломкой алебаstra, при этом наибольшую ценность имел «лучший сорт, называемый головкою. Он ценится дороже обыкновенного алебаstra и продается с погрузкою в суда до 50 рублей за 1000 пудов»[1]. Следы разработки этого пласта сохранились в виде отвалов, рвов и воронок в верхних и средних частях склонов глубокооврезанных оврагов. Возможно, на участках с большой вскрышей имела место и подземная разработка «головки».

Промышленные масштабы добыча приобрела с 1928 г., когда в пластах «семиаршинника» были заложены первые крупные штольни. В 1935 г. было добыто 50 тыс. т, а в 1936 г. – 70 тыс. т гипса. В 1937 г. севернее Антоновки проводились



геологоразведочные работы Горно-техническим трестом НКМП РСФСР (московское отделение). Бурением 6 скважин глубиной до 175 м на расстоянии 300 м друг от друга были охотурены границы месторождения [2].

В октябре 1941 г. штольни были осматрены отрядом Экспедиции особого назначения под рук. А.Е. Ферсмана. В кратком отчете указывались размеры выработанного подземного пространства, а также характеризовались элементы технического оснащения рудника. Отмечалось, что «к руднику идет дорога от с. Антоновки, малоудобная из-за крутизны склона. Удобнее подступы с Волги, к берегу подходят баржи. На высоте 15 м над рекой есть производственная площадка. Берег разработан уступами и бермами <...> Подземная площадь рудника велика – он проходит под двумя увалами и разделяющим их оврагом. Общая площадь до 100 000 м<sup>2</sup>. Объем до 500 000 м<sup>3</sup>. Высота штолен 4,5 м, ширина 5–7 м. Выработки простираются с севера на юг вдоль Волги на 700 м, с востока на запад на 400 м. На поверхность открывается 4 входа, кроме того есть три заваленных <...> Средняя годовая температура +6 °С <...> Рудник обладает значительным жилым фондом: 6 домов (88 комнат), три общежития на 60 чел. и служебные постройки. Электроэнергия от своей станции, имеющей 2 мотора на 18 л.с. и дизель 100 л.с. <...> В штольнях проложено 2500 м узкоколейного рельсового пути (750 мм), есть вагонетки» [5].

В послевоенные годы в добыче гипса были задействованы немецкие военнопленные, но сведений об их работе крайне мало.

В Национальном архиве Татарстана сохранился план подземных выработок 1949 г. (гл.инженер П.Ф. Никитин, маркшейдер В.И. Рудометкина), где основные работы намечены в районе штолен № 10, 9 и 11, расположенных в крайней северо-западной части рудника. Район же южнее штольни № 10 обозначен как «старые работы» [3]. Очевидно, что в послевоенные годы работы велись уже преимущественно в северо-западном направлении выше оврага.

В начале 1950-х при создании Куйбышевского водохранилища часть выработок оказалась подтоплена, а уровень воды достиг уступа, где были заложены входы. Зимой 1955–1956 гг. уже выведенный из эксплуатации рудник обследовался зоологом П.П. Стрелковым. В поисках летучих мышей он осмотрел штольни №10, 11, уходящие на глубину 600 м. [4]

О целенаправленной консервации входов в рудник нам неизвестно, однако уже в начале 1980-х гг. они были целиком обрушены (за исключением 1–2 входов, претерпевших значительное смещение вверх по обрывистому склону вследствие гравитационных процессов). В эти же годы рудник неоднократно посещался казанскими туристами, путешествовавшими по льду на лыжах.

В 2005 г. берег водохранилища в районе Антоновки был осмотрен с борта теплохода, а также произведена дистанционная GPS привязка обнаруженных входов (Ю. Долотов). В 2007 г. в целях подготовки к зимней экспедиции поверхность над выработками обследована группой НГСС. Зимой 2008 г. через небольшое отверстие между монолитом и крупноглыбовым гравитационным конусом в рудник удалось попасть объединенной группе спелеологов Рязани, Набережных Челнов, Перми и Кунгура.

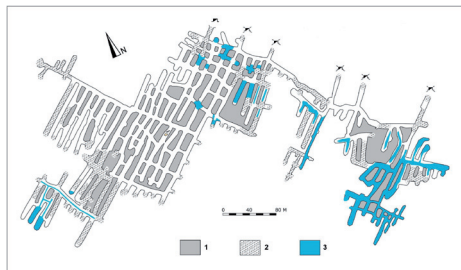


Рис.1. План Антоновского гипсового рудника (по материалам топосъемки 2008–2010 гг.): 1 – целики породы; 2 – обвальные процессы; 3 – подтопление

План рассматриваемого рудника представлен на рис. 1. Входная часть в рудник представляет собой крутонаклонный спуск на глубину 15 м до основного уровня выработок. Ближние штреки в силу морфологических особенностей входа в зимнее время сильно промораживаются и изобилуют большим числом разнообразных ледяных образований, преимущественно сталагмитов, стены покрыты ледяными кристаллами. Зона низких температур в январе имеет площадь свыше 250 м<sup>2</sup>.

В ходе экспедиции была исследована часть рудника протяженностью 5 км, представляющая собой систему штреков, пройденных на 350 м в противоположном берегу направлении (ЮЗ) камерно-столбовым методом с применением буровзрывной проходки. Межкамерные целики в плане вытянуты, имеют длину от 10 до 60 м при ширине от 3 до 20 м. Средняя ширина штреков от 5–7 м, высота 3–4,5 м. Ширина сбоек 2–6 м. Центральная часть выработки хорошо сохранилась – здесь сухо, отсутствуют обрушения, в ряде штреков имеются деревянные крепи, сохраняющие свои функции, несмотря на возраст. Однако периметр сильно обрушен – свыше 30 штреков оказались отрезаны непроходимыми завалами уже на первых 10–15 м. В особенности обрушениям подвержена крайняя западная часть осмотренного участка. Она располагается под мощным глубоковрезанным оврагом и при данных геолого-гидрологических условиях несет большую нагрузку. Активность гравитационных процессов, спровоцированная в том числе водопритоком за счет субвертикальной циркуляции, привела к обрушениям и смещению полостей вверх на 5–8 м от коренного забоя на площади более 5000 м<sup>2</sup>. Здесь же был обнаружен устойчивый (возможно, перехваченный с поверхности) водоток, который, проходя по выработке, образует озера и через 80 м скрывается в завале. Совокупность водотока и обвальных процессов создает своеобразный антропогенно-естественный подземный ландшафт, схожий во многом с ландшафтами естественных гипсовых пещер. К сожалению, неравномерность обрушений, связанная с более высокой скоростью гравитационного роста отдельных «куполов», не позволили проникнуть в целый ряд предполагаемых продолжений выработки.

Несколько штреков в ближней части рудника сильно загрязнены продуктами ГСМ, площадному распространению которых (судя по следам на стенах) способствует паводковое колебание уровня воды водохранилища.



Рис. 2. Штрек рудника с деревянной крепью (фото А. Янаки)

Зимой 2009 г. исследования были продолжены. Спелеологам (Рязань, Москва, Санкт-Петербурга, Нижний Новгород) удалось преодолеть протяженный завал в юго-восточной части выработки в штреке, параллельном берегу, и выйти в район низко заложенных и подтопленных штреков протяженностью более 1300 м (рис. 2). Обнаруженная часть имела признаки наиболее старых работ рудника – разноразмерность и некоторую хаотичность штреков, а также наличие невывезенных отвалов по сторонам узкоколейных путей (что практиковалось в 1920–30-е гг.). Вероятно, именно отсюда начиналось промышленное освоение месторождения. Старая часть рудника оказалась в той же степени подвержена многочисленным обрушениям, кроме того, исследователи были остановлены обширной зоной затопления, охватывающей крайнее юго-восточное крыло.

В январе 2010 г. в руднике работала группа спелеологов Нижнего Новгорода и Санкт-Петербурга. Используя гидрокостюмы, они обследовали свыше 500 м подтопленных штреков, некоторые из которых так и не были пройдены до конца. Кроме того, ими были предприняты попытки разбора завалов в северо-западном направлении рудника, в сторону самой поздней, известной по архивному плану, «заовражной» части разработок. Однако из-за технической сложности работ продвинуться удалось лишь на 40 м, при этом открылось несколько обрушенных боковых штреков общей длиной 60 м.

По итогам трех экспедиций, суммарная длина обследованной части рудника составила более 7 000 м (50 000 м<sup>2</sup>). Недоступными остаются по меньшей мере 2/3 рудника, находящиеся в северо-западном крыле за оврагом и на отрезанном завалами южном участке.

Антоновский рудник может войти в число памятников истории горного дела XX в. В нем в большом количестве сохранились артефакты времен добычи: остовы вагонеток, колесные пары, весы и т.д. Сохранность центральной части дает возможность ознакомиться с технологиями добычи и крепления выработок. Особую роль рудник может сыграть в исследовании формирования естественных ландшафтов в искусственных выработках. Процессы гравитационного роста здесь можно наблюдать при разных условиях и на разных стадиях развития.

Рудник может быть интересен и зоологам – в штреках северной части зимует неучтенная ранее колония летучих мышей.

В ноябре 2010 г. единственный доступный вход Антоновского рудника (из 6 в юго-восточной части) оказался обрушенным. Дальнейшие исследования могут быть связаны лишь с повторным вскрытием выработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азанчеев Ю. Каменоломни и разработки простых полезных ископаемых в России. СПб.: Горный департамент, 1894.
2. Забинин Н.С. Геологический отчет Антоновского месторождения гипса. Горно-технический трест НКМП РСФСР. – М., 1937.
3. НАРТ Ф.Р-2855. Оп.1. Д.118. Л.1.
4. Стрелков П.П. Материалы по зимовкам летучих мышей в европейской части СССР// Труды зоологического института АН СССР. Т. XXV. 1958.
5. Укрытия бассейна р. Оки, районов Казани, Камского Устья и Куйбышева. Предварительный отчет/ под ред. А.Е. Ферсмана. М.; Свердловск, 1942.

**ЭКОЛОГИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРΟΣЛЕЙ ПЕЩЕРЫ КУЭШТА  
(РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)**

---

**Sh.R. Abdullin*****Bashkir State University*****ECOLOGY OF CYANOBACTERIAE AND ALGAE IN KUESHTA CAVE (BASH-KORTOSTAN REPUBLIC)****Summary**

The results of cyanobacteriae and algae investigation in Kueshta cave (Bashkortostan Republic) are presented. 30 species and infraspecific taxa from Cyanoprokaryota, Bacillariophyta and Chlorophyta were identified by different methods. Algae, belonging to the Bacillariophyta division were found to dominate. Highest average species number in one sample of different illumination zones was found in light zone. Highest average species number in one sample of different habitats was found in benthal. Apparently, this habitat is a depository of cyanobacteriae and algae rest stages.

Пещеры представляют собой уникальные природные образования. Большинство из них имеют стабильный микроклимат, для которого характерны низкая интенсивность света, незначительные колебания температуры в течение года и постоянная высокая влажность воздуха. Пещеры – это специфические экосистемы, в которых встречаются цианобактерии и водоросли [1, 19]. Изучению этой особой экологической группы в последние годы уделяется внимание в различных странах мира [18]. Подробное исследование и анализ особенностей распределения данных организмов в гипсовых полостях Башкортостана представляют ценность для исследования биологии пещер. Цель данной работы – изучить и проанализировать видовой состав цианобактерий и водорослей на всей протяженности, в различных зонах освещенности и разных местообитаниях пещеры Куэшта.

**Материал и методика**

Пещера Куэшта (рис. 1) расположена в 1,3 км к западу от с. Кузнецовка Иглинского района Республики Башкортостан в горе Куэштау, представляющей холм около 70 м высоты на правом склоне р. Сим. Суммарная длина ходов составляет 800 м. Пещера образовалась в кунгурских гипсах и ангидритах благодаря деятельности ручья Куэшта. Ручей маловоден, особенно зимой, исчезает во входном отверстии пещеры, просачиваясь сквозь шлейф обломков гипса. В пещере местами поток делится на рукава, каждый из которых течет по отдельным каналам и расщелинам. Полость представляет сквозной извилистый горизонтальный коридор, соединяющий четыре пещерных зала и образующий боковые ответвления. Протяженность сквозного Главного коридора составляет 410 м, максимальная высота достигает 12 м. В привходовой части пещеры обнаружен лед [12].

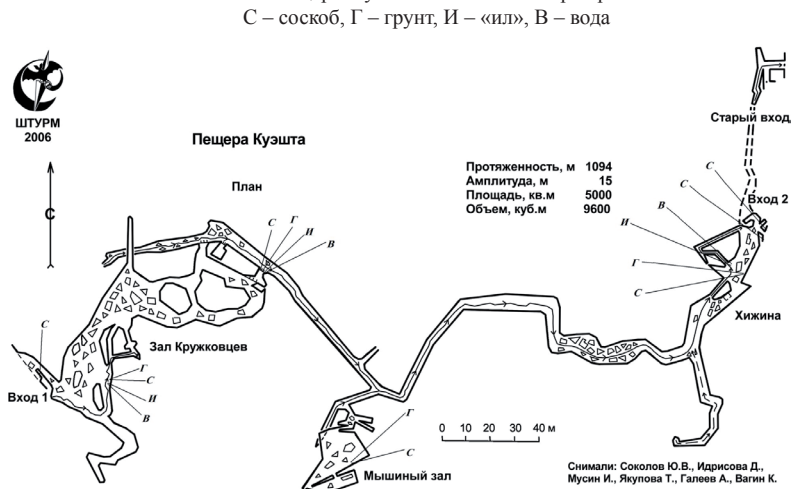
Для выявления цианобактерий и водорослей в пещере Куэшта 23.06.2009 было отобрано 17 проб, из них 4 пробы грунта, 7 соскобов и мазков со стен, по 3 пробы воды и «ила» из ручья. Температура воздуха при отборе проб изменялась от +7 °C у входа до +1 °C в глубине полости. При этом температура воздуха снаружи была +19 °C.

Освещенность изменялась от 0 до 300 лк. Отбор проб проводился стандартными методами [10].

Выявление видowego состава водорослей в пробах грунта, «ила» и налетов со стен проводилось в лаборатории методом прямого микроскопирования, на «стеклах обростания» [6] и после культивирования проб в жидкой минеральной среде № 6 [7].

Пробы воды профильтровывались через мембранный фильтр № 2 (средний диаметр пор 0,5 мкм), затем фильтры также помещались в среду № 6. Культивирование проводилось в люминистате при комнатной температуре. При определении водорослей использовали определители В.М. Андреевой [3], М.М. Голлербаха с соавт. [5], М.М. Забелиной с соавт. [8], Е.К. Косинской [9], Н.А. Мошковой с соавт. [11], П.М. Царенко [13], К. Krammer, H. Lange-Bertalot [21, 22, 23], J. Komarek, B. Fott [20].

Рис. 1. План пещеры Кузшта с точками отбора проб.



Систематика цианобактерий приведена по К. Anagnostidis, J. Komárek [15, 16, 17], систематика диатомовых – по F.E. Round с соавт. [24]. Зеленые водоросли даны по системе, приведенной в справочнике «Водоросли» [4], по которой отдел представлен 3 классами. Порядки *Tetrasporales*, *Chlorococcales* и *Chlorosarcinales* приводятся согласно В.М. Андреевой [3].

Жизненные формы цианобактерий и водорослей даны по Т.И. Алексахинной и Э.А. Штиной [2].

Обилие цианобактерий и водорослей оценивалось по 5-балльной шкале, наличие данных организмов только в жидких культурах отмечалось наименьшим баллом. Общее обилие видов и разновидностей цианобактерий и водорослей определялось как сумма обилия баллов отдельных видов и разновидностей. Частота встречаемости, или константность видов (F) рассчитывалась по формуле

$$F = a/A \cdot 100\%,$$

где а – число образцов, в которых обнаружен вид, А – общее число исследованных образцов [10]. При изучении структурно-функциональной организации цианобактериально-водорослевых ценозов использовались соотношение систематических групп; состав, а также соотношение доминантов и экобиоморф; кроме того, выявлялись константные, диагностические и характерные виды. Для флористического анализа строились спектры ведущих по числу видов отделов, а также доминирующих по сумме баллов обилия видов; применялся качественный коэффициент сходства Серенсена-Чекановского [10].

### Результаты и их обсуждение

**Общая таксономическая и экологическая характеристики цианобактерий и водорослей пещеры Кузшта.** В целом в пещере Кузшта выявлено 30 видов и внутривидовых таксонов цианобактерий и водорослей, относящихся к 3 отделам, 4 классам, 9 порядкам, 17 семействам и 23 родам (табл. 1).



Таблица 1

## Таксономический состав цианобактерий и водорослей пещеры Кузшта

Встречаемость: 1 – единично, 2 – спорадически, 3 – массово

Таксон	Встречаемость
<b><i>Cyanoprokaryota</i></b>	
<b><i>Cyanophyceae</i></b>	
<b><i>Oscillatoriales</i></b>	
<i>Pseudanabaenaceae</i>	
<i>Leptolyngbya boryana</i> (Gom.) Anagn. et Kom.	2
<i>Leptolyngbya gracillina</i> (Zopf.) Anagn. et Kom.	1
<i>Phormidiaceae</i>	
<i>Phormidium ambiguum</i> Gom.	2
<b><i>Nostocales</i></b>	
<i>Nostocaceae</i>	
<i>Cylindrospermum michailovskoense</i> Elenk.	1
<i>Nostoc punctiforme</i> f. <i>populorum</i> (Geitl.) Hollerb.	1
<i>Trichormus variabilis</i> (Kütz. ex Born. et Flah.) Kom. et Anagn.	1
<b><i>Bacillariophyta</i></b>	
<b><i>Bacillariophyceae</i></b>	
<b><i>Achnanthales</i></b>	
<i>Achnanthaceae</i>	
<i>Achnanthes conspicua</i> A. Maver	1
<i>Achnanthes linearis</i> (W.Sm.) Grun.	1
<i>Achnanthes</i> sp.1	1
<i>Planothidium lanceolata</i> (Bréb. In Kütz.) Round et Bukht.	1
<b><i>Naviculales</i></b>	
<i>Diadesmidae</i>	
<i>Diadesmis contenta</i> (Grun. ex Van Heur.) Mann	1
<i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann	1
<i>Luticola mutica</i> var. <i>binodis</i> Hust.	1
<i>Sellaphoraceae</i>	
<i>Sellaphora pupula</i> (Kütz.) Mann	1
<i>Pinnulariaceae</i>	
<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.	1
<i>Naviculaceae</i>	
<i>Navicula minuscula</i> Grun.	1
<i>Navicula subminuscula</i> Manguin.	1
<i>Stauroneidaceae</i>	
<i>Stauroneis anceps</i> Ehr.	1
<b><i>Thalassiosiphysales</i></b>	
<i>Catenulaceae</i>	
<i>Amphora montana</i> Krasske	1
<b><i>Bacillariales</i></b>	
<i>Bacillariaceae</i>	
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun.	1
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Sm.	1
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hust.	1
<b><i>Chlorophyta</i></b>	
<b><i>Chlorophyceae</i></b>	
<b><i>Chlorococcales</i></b>	
<i>Chlorococcaceae</i>	
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrang.) Menegh.	1
<i>Chlorococcum minutum</i> Starr	1
<i>Chlorellaceae</i>	
<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punč.	3
<i>Choricystis chodatii</i> (Jaag) Fott	2
<i>Oocystaceae</i>	
<i>Oocystis parva</i> W. et G. S. West	1
<b><i>Ulotrichales</i></b>	
<i>Ulotrichaceae</i>	
<i>Stichococcus minor</i> Nag. s. str.	2
<b><i>Zygnematophyceae</i></b>	
<b><i>Desmiales</i></b>	
<i>Closteriaceae</i>	
<i>Closterium Jenneri</i> Ralfs	1
<i>Peniaceae</i>	
<i>Penium spinospermum</i> Josh	1

Доминировали представители отдела *Bacillariophyta*, что, по-видимому, обусловлено присутствием в пещере водотока. В полости преобладали цианобактерии и водоросли из порядков *Naviculales* (26,7 %) и *Chlorococcales* (16,7 %); семейств *Achnanthaceae*, *Nostocaceae*, *Diadesmidaceae* и *Bacillariaceae* (по 10,0 %); родов *Achnanthes* (10,0 %), *Leptolyngbya* *Luticola*, *Navicula*, *Nitzschia* и *Chlorococcum* (по 6,7 %); по сумме баллов обилия преобладали виды *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punč. и *Phormidium ambiguum* Gom.; наиболее часто встречался вид *Mychonastes homosphaera* (F = 35,3 %). В спектре жизненных форм – hydr.11B<sub>7</sub>Ch<sub>4</sub>P<sub>3</sub>CF<sub>3</sub>X<sub>1</sub>amph<sub>1</sub> – доминировали представители hydr.-формы, что также связано с наличием в пещере водотока. Альгологически стерильными оказались 2 мазка со стен и 2 пробы грунта из темновой зоны пещеры. Проведено сравнение видового состава цианобактерий и водорослей пещер Кузшта и Кунгурской Ледяной пещеры, которая также залегает в гипсах [14], сходство оказалось средним (43,6 %).

Цианобактерии и водоросли темновой и освещенной зон. Фототрофия – основной способ питания цианобактерий и водорослей, хотя некоторые из них способны переходить и на гетеротрофный тип питания. Поэтому свет является одним из основных абиотических факторов, влияющих на их развитие. В зависимости от уровня освещения, в пещерах выделяют освещенную и темновую зоны. В пещере Кузшта входы небольшие, поэтому освещенная зона занимает в полости небольшую площадь. Остальная часть пещеры относится к темновой зоне.

В результате флористического анализа было выявлено, что доминирующие отделы различных зон освещенности различались (рис. 2).

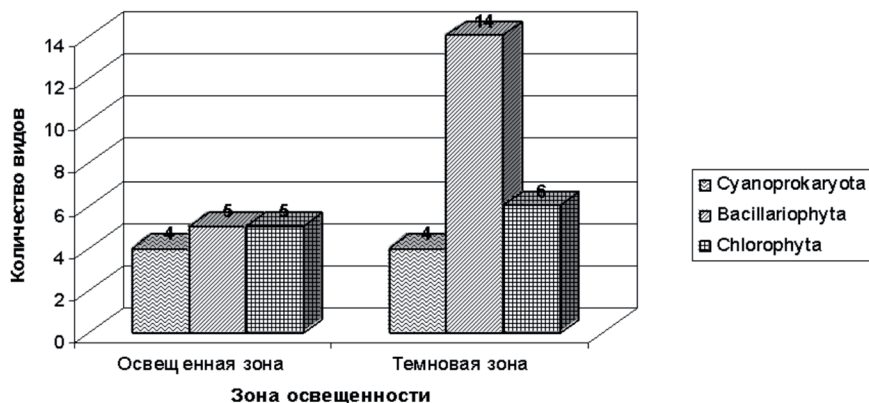


Рис. 2. Состав отделов цианобактерий и водорослей освещенной и темновой зон пещеры Кузшта

Доминирующие виды, а также спектры жизненных форм различались, состав константных видов совпал (табл. 2). Количество характерных видов в темновой зоне было выше, чем в освещенной (табл. 2). В целом общее число видов и сумма баллов обилия в темновой зоне были выше, однако среднее число видов в пробе и среднее число баллов обилия в пробе были выше в освещенной зоне (табл. 2). Сравнение видового состава цианобактерий и водорослей освещенной и темновой зон показало среднее сходство (42,1 %). Возможно, это обусловлено заносом цианобактерий и водорослей ручьем, протекающим через освещенную и темновую зоны пещеры.

Сходство видового состава цианобактерий и водорослей освещенной зоны пещер Кузшта и Кунгурская Ледяная – среднее ( $K_{C-Q} = 42,4$  %), темновой зоны – более низкое ( $K_{C-Q} = 33,3$  %).

Таблица 2

Сравнение таксономического и экологического составов цианобактерий и водорослей освещенной и темновой зон пещеры Куэшта

Таксон	Освещенная зона	Темновая зона
Доминирующие виды		
<i>Phormidium ambiguum</i>	6/2,0	+
<i>Leptolyngbya gracillima</i>	4/1,3	
<i>Nostoc punctiforme</i> f. <i>populorum</i>	4/1,3	
<i>Mychonastes homosphaera</i>	+	7/0,5
<i>Trichormus variabilis</i>		4/0,3
<i>Navicula minuscula</i>		4/0,1
Характерные виды		
<i>Phormidium ambiguum</i>	V	I
<i>Stichococcus minor</i>	IV	I
<i>Cylindrospermum michailovskoense</i>		I
<i>Trichormus variabilis</i>		I
<i>Achnanthes conspicua</i>		I
<i>Pinnularia borealis</i>		I
<i>Navicula subminuscula</i>		I
<i>Chlorococcum infusum</i>		I
Константные виды		
<i>Mychonastes homosphaera</i>	II	II
<i>Leptolyngbya boryana</i>	II	I
<i>Planothidium lanceolata</i>	II	I
<i>Diademesis contenta</i>	II	I
<i>Hantzschia amphioxys</i>	II	I
<i>Choricystis chodatii</i>	II	I
Общее число видов	14	24
Среднее число видов в пробе	5,7	2,6
Сумма баллов обилия	35	49
Среднее число баллов обилия в пробе	11,7	3,5
Спектр жизненных форм	P <sub>3</sub> B <sub>3</sub> hydr. <sub>3</sub> Ch <sub>2</sub> CF <sub>1</sub> X <sub>1</sub> amph. <sub>1</sub>	hydr. <sub>9</sub> B <sub>4</sub> Ch <sub>4</sub> P <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> X <sub>1</sub>

У доминирующих видов указано отношение суммы баллов обилия к среднему числу баллов обилия в пробе, пустая ячейка – вид отсутствует, «+» – вид присутствует, но не является доминирующим; для константных и характерных видов показаны классы встречаемости.

Цианобактерии и водоросли различных местообитаний. Кроме освещенности на распределение цианобактерий и водорослей в пещерах также влияет характер местообитания. В пещере Куэшта можно выделить несколько их типов: грунт, стены, бенталь и пелагиаль водоемов.

Представленность доминирующих отделов и видов в целом различалась, только в грунте и пелагиали они были сходными. Бенталь характеризовалась отсутствием *Mychonastes homosphaera*, грунт – *Choricystis chodatii*. Виды *Leptolyngbya boryana* и *Phormidium ambiguum* встречались только в бентали и на стенах, *Stichococcus minor* – в пелагиали и на стенах. *Pinnularia borealis* и *Navicula subminuscula* были отмечены лишь в бентали. Спектр жизненных форм всех местообитаний различался, хотя доминирующие жизненные формы грунта и пелагиали были сходными (рис. 3, табл. 3). Максимальные общее число видов, среднее число видов в пробе и среднее число баллов обилия в пробе были выявлены в бентали (табл. 3). Это объясняется тем, что данное местообитание является банком покоящихся стадий цианобактерий и водорослей. Подобная закономерность отмечалась и в других исследованных пещерах [1, 14]. Наименьшее общее число видов, среднее число видов в пробе, сумма баллов обилия и среднее число баллов обилия отмечены в местообитании грунта, что объясняется, по-видимому, частичным присутствием льда в данном местообитании.

Таблица 3

Сравнение таксономического и экологического составов цианобактерий и водорослей различных местообитаний пещеры Куэшта

Таксон	Местообитания			
	Грунт	Бенталь	Пелагиаль	Стены
Доминирующие виды				
<i>Mychonastes homosphaera</i>	3/0,8		2/0,7	
<i>Navicula minuscula</i>		4/1,3		
<i>Trichormus variabilis</i>		3/1,0		
<i>Pinnularia borealis</i>		3/1,0		
<i>Phormidium ambiguum</i>				6/0,9
<i>Leptolyngbya gracillima</i>				4/0,6
<i>Nostoc punctiforme f. populorum</i>				4/0,6
Диагностические виды				
<i>Mychonastes homosphaera</i>	II		IV	III
<i>Choricystis chodatii</i>		II	II	I
<i>Leptolyngbya boryana</i>		II		II
<i>Phormidium ambiguum</i>		II		III
<i>Pinnularia borealis</i>		IV		
<i>Navicula subminuscula</i>		IV		
<i>Stichococcus minor</i>			II	II
Спектр жизненных форм	Ch <sub>2</sub> CF <sub>1</sub> hydr. <sub>1</sub>	hydr. <sub>3</sub> B <sub>6</sub> P <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> Ch <sub>2</sub>	Ch <sub>3</sub> CF <sub>1</sub> X <sub>1</sub> hydr. <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> hydr. <sub>3</sub> B <sub>3</sub> Ch <sub>2</sub> CF <sub>1</sub> X <sub>1</sub> amph. <sub>1</sub>
Общее число видов	4	20	6	14
Среднее число видов в пробе	1,0	7,3	2,3	2,9
Сумма баллов обилия	6	33	7	38
Среднее число баллов обилия в пробе	1,5	11,0	2,3	5,4

Наибольшее сходство видового состава цианобактерий и водорослей имели бенталь и стены, а также пелагиаль и стены (рис. 4), хотя оно было невысоким. Это можно объяснить частичным подъемом уровня воды в паводки и переносом цианобактерий и водорослей из водотока на стены. Наименьшее сходство видового состава цианобактерий и водорослей отмечено между грунтом и стенами (рис. 4), что также, видимо, связано с наличием на полу пещеры льда.

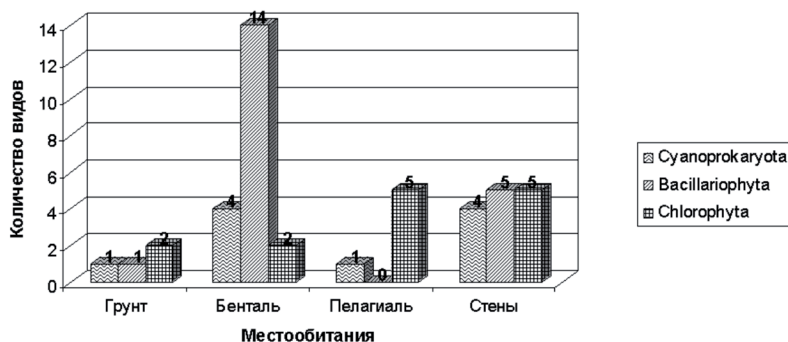


Рис. 3. Состав отделов цианобактерий и водорослей различных местообитаний пещеры Куэшта

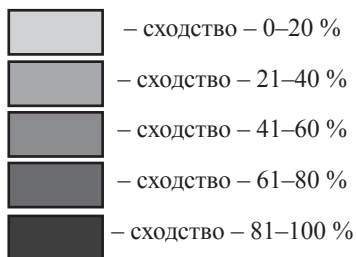
Сходство видового состава цианобактерий и водорослей пещер Куэшта и Кунгурской Ледяной для грунта – 16,7 %, для стен – 22,2 %, для бентали и пелагиали – по 28,6 %.

У доминирующих видов указано отношение суммы баллов обилия к среднему числу баллов обилия в пробе, пустая ячейка – вид отсутствует, «+» – вид присутствует,

но не является доминирующим; для диагностических видов показаны классы встречаемости.

Бенталь	25,0		
Пелагиаль	20,0	15,4	
Стены	11,1	35,3	30,0
	Грунт	Бенталь	Пелагиаль

Рис. 4. Сходство видового состава цианобактерий и водорослей различных местообитаний пещеры Левобережная (по коэффициенту Сьеренсена-Чекановского)



### Выводы

Таким образом, в пещере Куэшта выявлено 30 видов и внутривидовых таксонов цианобактерий и водорослей, относящихся к 3 отделам, 4 классам, 9 порядкам, 17 семействам и 23 родам. Среди жизненных форм доминировали представители hydr.-формы, что связано с наличием в пещере водотока. Количество характерных видов в темновой зоне было выше, чем в освещенной. Среднее число видов в пробе и среднее число баллов обилия в пробе были выше в освещенной зоне. Сравнение видового состава цианобактерий и водорослей освещенной и темновой зон показало среднее сходство. По-видимому, это обусловлено заносом цианобактерий и водорослей ручьем, протекающим через освещенную и темновую зоны пещеры. Максимальные общее число видов, среднее число видов в пробе и среднее число баллов обилия в пробе были выявлены в бентали. Это объясняется тем, что данное местообитание является банком покоящихся стадий цианобактерий и водорослей. Наименьшее общее число видов, среднее число видов в пробе, сумма баллов обилия и среднее число баллов обилия присутствовали в грунте, что объясняется, по-видимому, частичным наличием льда в данном местообитании.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллин Ш.Р. Цианобактерии и водоросли пещеры Шульган-Таш (Каповой): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2005. 16 с.
2. Алексахина Т.И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М., 1984. 152 с.
3. Андреева В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (*Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales*). СПб., 1998. 351 с.
4. Водоросли. Справочник / под ред. С. П. Вассера. Киев, 1989. 608 с.
5. Голлербах М.М., Косинская Е. К., Полянский В. И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М., 1953. 654 с.



6. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 142 с.
7. Громов Б.В. Коллекция культур водорослей Биологического института Ленинградского университета // Труды Петергоф. биол. ин-та ЛГУ. Л., 1965. Т. 19. С. 125–139.
8. Забелина М.М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И., Шешукова В. С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М., 1951. 620 с.
9. Косинская Е.К. Десмидиевые водоросли, вып. 1 // Флора споровых растений СССР. Т. 5. Конъюгаты, или сцеплянки. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 710 с.
10. Кузяхметов Г.Г., Дубовик И. Е. Методы изучения почвенных водорослей. Уфа: Изд-во БашГУ, 2001. 56 с.
11. Мошкова Н.А., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10 (1). Зеленые водоросли, класс Улотриковые (1), порядок Улотриковые. Л., 1986. 360 с.
12. Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 2006. 296 с.
13. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев, 1990. 208 с.
14. Abdullin Sh.R., Pidchenko M.S. Cyanobacterial-algal coenoses of Kungur Ice Cave // 3-rd International Workshop on Ice Caves: Volume of Abstracts. Kungur Ice Cave, Perm Region Russia, May 12–17, 2008. P. 54–55.
15. Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to classification system of cyanophytes. 2. Chroococcales // Arch. Hydrobiol. Suppl. 73, 2, Algol. Stud. 43. 1986. P. 157–226.
16. Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to classification system of cyanophytes. 3. Oscillatoriales // Arch. Hydrobiol. Suppl. 80, Algol. Stud. 50–53. 1988. P. 327–472.
17. Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to classification system of cyanophytes. 4. Nostocales // Arch. Hydrobiol. Suppl. 82, 3, Algol. Stud. 56. 1989. P. 247–345.
18. Coute A., Chauveau O. Algae / Encyclopaedia biospeleologica, T 1. / ed. by C. Juberthie, V. Decu. Bucarest, 1994. P. 371–380.
19. Hajdu L. The flora of Hungarian caves // Karszt és Barlang, special issue. Budapest, 1977. P. 39–42.
20. Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen): Chlorococcales // Binnengewässer. Bd. 16. 1983. Vol. 7. N 1. 1044 s.
21. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 1. Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/1. Jena, 1986. 876 s.
22. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. Jena, 1988. 596 s.
23. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 4. Achnanthaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/4. Jena, 1991. 434 s.
24. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge, 1990. 748 p.

## **МИКРООРГАНИЗМЫ, КАРСТ, НЕФТЬ И СПЕЛЕОГЕНЕЗ**

**V. T. Khmurchik, N. G. Maximovich, O. Yu Meshcheryakova**  
*Natural Sciences Institute of Perm State University*

## **MICROORGANISMS, KARST, OIL AND SPELEOGENESIS**

### **Summary**

The main microbiological processes in karst caves and their influence on speleogenesis is described. The activation of aerobic and anaerobic microorganisms in oil-polluted karst rocks can enhance karst processes.

Микроорганизмы распространены повсеместно, где наличествуют условия для их существования. Факторами, лимитирующими развитие микроорганизмов в природе, являются температура, давление, влажность, наличие органических веществ и биогенных элементов, окислительно-восстановительные условия и соленость. Жизнедеятельность микроорганизмов и их участие в формировании и разрушении горных пород происходят в верхних слоях литосферы на ее границе с атмосферой и гидросферой. При этом в различных геологических районах, как и в различных горных породах, отличающихся по возрасту, литологическому, химическому или гранулометрическому составу, условия для жизнедеятельности микроорганизмов могут сильно различаться. Принимая, что для микроорганизмов предельной является температура около  $100^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>, в среднем граница биосферы может опускаться до глубины 4000 м [11].

Водоносные горизонты и полости (в т.ч. пещеры) карстующихся пород предоставляют необходимые для существования микроорганизмов условия обитания. В районах развития закарстованных пород в случае их близкого залегания или выхода на поверхность происходит поглощение значительной части поверхностного стока.

Бактерии, археи и микроскопические грибы распространены в пещерах почти повсеместно. Микрофлора пещер не является уникальной по происхождению – это все те же микроорганизмы, обнаруживаемые на дневной поверхности, которые тем или иным способом, в то или иное время попали в пещеры и заселили их [18, чему могли способствовать несколько характерных особенностей карстовых водоносных горизонтов, вследствие которых эти горизонты более других подвержены загрязнению, в том числе и бактериальному, с поверхности. Согласно W.B. White [36], такими особенностями являются: 1) очень тонкий почвенный слой на поверхности, который не обладает достаточной фильтрующей способностью; 2) отсутствие гранулярной структуры, что не обеспечивает достаточной механической фильтрации (самоочищения) внутри горизонта; 3) короткое время нахождения воды внутри горизонта, что не дает достаточного времени для биоочистки от химических загрязнителей. Более того, для карстовых водоносных горизонтов часто характерна прямая и быстрая связь с поверхностными и подземными водами; отложения в них подвижны и могут переноситься по карстовой системе, перенося тем самым и

<sup>1</sup> Строго говоря, величина в  $100^{\circ}\text{C}$  не должна рассматриваться как абсолютная, поскольку для микроорганизмов более критичным является наличие в окружающей среде воды в жидкой фазе, а фазовое состояние воды связано не только с температурой, но и давлением: чем выше давление, тем выше температура точки кипения воды. Так, главным результатом общенаучного значения бурения Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 явилось установление в условиях докембрийских кристаллических пород пласта свободной воды на глубинах до 12 км [5], где температура была около  $200^{\circ}\text{C}$  [6]. Поэтому не удивительно обнаружение микроорганизмов, жизнеспособных при температуре до  $113^{\circ}\text{C}$  в условиях давления, превышающего атмосферное [15]. Существует мнение, что максимальная ростовая температура, при которой может существовать микробная жизнь, возможно, может быть найдена между  $110^{\circ}\text{C}$  и  $150^{\circ}\text{C}$  [21; 32].

закрепленные на частицах отложений микроорганизмы [26; 27]. Поэтому с точки зрения поиска новых видов микроорганизмов, уникальных именно для пещер, никаких открытий не предстоит – «пещерные» микроорганизмы являются представителями тех же родов и видов, уже известных нам по почвенной и водной микробиологии.

Карст сильно гетерогенен – различные гидрогеологические условия могут наблюдаться на расстоянии буквально нескольких метров друг от друга. Карстовые системы могут быстро откликаться на изменение климатических условий или условий окружающей среды. Качество воды в карсте может очень существенно меняться за короткий промежуток времени [26; 28; 31]. Все эти изменения, несомненно, сказываются на жизнедеятельности микроорганизмов. С другой стороны, в зоне развития альпийского карста обнаружено существование автохтонного микробного эндокарстового сообщества, т.е. сообщества, не зависящего от сезонных или гидрологических условий [24].

Наличие множества разнообразных экологических ниш (даже в пределах одной карстовой системы) дает возможность существования в пещерах довольно разнообразной микрофлоры. Однако, обнаружение в пещерах каждой данной группы микроорганизмов говорит лишь о ее возможной роли в геологическом процессе. Нельзя отождествлять присутствие микроорганизмов с наличием их активной жизнедеятельности [7]. Вопрос совсем не в том, какие бактерии здесь находятся, а в том, какие функции в данных реальных условиях они могут осуществлять [1]. Еще в 1963 г. было отмечено, что невозможно составить исчерпывающе полный список микроорганизмов, обнаруживаемых в пещерах. Более того, даже будучи составленным, этот список не представлял бы большого научного интереса вследствие «поверхностного» происхождения пещерной микрофлоры [18]. Следовательно, микробиологические исследования пещер должны быть сфокусированы не на микроорганизмах самих по себе, а только в связи с осуществляемыми ими процессами. Нужен не ботанический (описательный) подход, а физиологический или, с учетом замечаний [1; 7], физиолого-геохимический подход.

### **Роль микроорганизмов в пещерах**

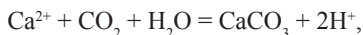
Роль микроорганизмов в пещерах может быть сведена к нескольким функциям: 1) преобразование и разрушение органических веществ (органотрофия); 2) синтез новых органических веществ (хемолитоавтотрофия); 3) преобразование горных пород, сопровождающееся разрушением минералов и/или минералообразованием. Первые две функции являются вполне самостоятельными, хотя их и можно рассматривать как две противоположенные ветви единого планетного цикла углерода. И если отталкиваться от цикла углерода, то третья функция будет сопутствовать первым двум.

**Органотрофия.** Органические вещества в пещерах большей своей частью имеют поверхностное происхождение и поступают в пещеры извне. В разрушении этих веществ в пещерах ключевую роль, как и на поверхности, играют бактерии, актиномицеты и микроскопические грибы, численность которых в пещерах обычно ниже, чем в поверхностных экосистемах, что связывают с меньшим количеством доступных для микроорганизмов органических веществ. Преобразование и разрушение органических веществ может происходить не только в аэробных, но и анаэробных условиях. Продукты трансформации органического вещества имеют кислую природу (углекислота и органические кислоты) и могут оказывать влияние на процессы осаждения или растворения карбонатных пород. Экзометаболиты и органические вещества мортмассы органотрофных микроорганизмов могут растворять карбонатные породы пещер [25; 29]. С другой стороны, метаболическая активность органотрофных микроорганизмов может являться причиной образования различных спелеотем: пещерного попкорна [33], сталактитов [35], “pool fingers” [20], лунного молока [16; 17; 18; 19]. Баланс между локальными условиями и микробиальными метаболическими процессами, которые доминируют при данных условиях, определяет, какой процесс (осаждение или растворение карбонатов) будет протекать в данном месте [30; 34].

Наши исследования нефтезагрязненных карстующихся пород в пределах Полазненского месторождения нефти [10] показали наличие в них активного нефтеокисляющего бактериального сообщества, а исследования подземных вод выявили наличие сульфатовосстанавливающих бактерий. Присутствие аэробного и анаэробного бактериальных сообществ в одном месте не является чем-то необычным. Наличие нефтяной линзы на поверхности подземных вод ухудшает их кислородный режим, препятствуя прямому поступлению кислорода из атмосферы. Истощение в подземных водах водорастворенного кислорода, который был в них до появления нефтяной линзы, а также кислорода, поступающего из зоны питания подземных вод, в процессах бактериального (и химического) окисления как водорастворенного органического вещества, так и углеводородов нефти вызвало появление восстановительной обстановки в подземных водах, что привело к развитию в них анаэробных бактериальных процессов. В существующих условиях преимущественное развитие получили сульфатовосстанавливающие бактерии, использующие в метаболических процессах в качестве окислителя водорастворенные сульфат-ионы:



В качестве восстановителя эти бактерии могут использовать не только водорастворенное органическое вещество, но и углеводороды самой нефтяной линзы [12]. Одним из продуктов процесса бактериальной сульфатредукции является сероводород. В процессе образования сероводорода по мере использования растворенных сульфат-ионов в раствор должны переходить новые их порции из сульфатсодержащих водовмещающих пород, при этом сульфатсодержащие минералы будут растворяться. Другим продуктом процесса бактериальной сульфатредукции является углекислый газ. Поступление его в подземные воды способствует осаждению вторичного кальцита:



что снижает насыщенность подземных вод ионами кальция и также способствует дополнительно растворению пород. Бактериальное восстановление сульфатов за счет нефтяных углеводородов сопровождается обогащением карстовых вод органическими кислотами [7; 9; 12], содержание которых, например, может достигать 7 г/л в условиях пластовых вод нефтяных месторождений [2]. Бактериальное окисление углеводородов нефти в аэробных условиях также ведет к росту в воде содержания органических кислот, растворяющих карбонатные породы. В результате все вышеперечисленное ведет к усилению карстобразовательного процесса в нефтезагрязненных водовмещающих гипсоносных породах как в аэробной, так и анаэробной геохимических обстановках одновременно.

**Хемолитоавтотрофия.** Хемосинтетические процессы являются другим источником энергии для поддержания существования бактериальных сообществ. Физиологические механизмы, используемые микроорганизмами для извлечения энергии из химических соединений, довольно разнообразны. В зависимости от типов используемых химических соединений (точнее, осуществляемых химических превращений) выделяют отдельные физиологические группы микроорганизмов, среди которых в пещерах обнаруживаются: водородоокисляющие, железоокисляющие, марганцеодокисляющие, сероокисляющие, аммонийнокисляющие, метаноокисляющие, денитрифицирующие, железовосстанавливающие, сульфатовосстанавливающие, метанобразующие и ацетатобразующие микроорганизмы. Все они не нуждаются в органических веществах как источнике углерода для конструктивного метаболизма, а используют для этого  $\text{CO}_2$  из окружающей среды, скорость хемоавтотрофной фиксации которого может быть довольно высокой. Так, для пещеры Cesspool Cave (США) была зафиксирована скорость хемоавтотрофной фиксации  $\text{CO}_2$  30,4 нг С/(мг. час) [23]. Доказано, что хемоавтотрофные виды микроорганизмов могут поддерживать жизнь животных в пещерах, в которые отсутствует поступление органических веществ извне. К таким пещерам, экосистемы которых основываются на продукции хемолитоавтотрофных микроорганизмов, относятся: Movel Cave (Румыния), пещерные системы Frasassi (Италия), Gueva de Villa Luz и пещеры Юкатанского

полуострова (Мексика), Lower Kane Cave и многочисленные пещеры Флориды (США) [22]. Продукты жизнедеятельности хемолитоавтотрофных микроорганизмов имеют кислую природу (в основном это неорганические кислоты) и могут растворять карбонатные породы. Описание основных родов хемолитоавтотрофных микроорганизмов, обнаруженных в пещерах, а также осуществляемые ими химические реакции приведены в «Encyclopedia of caves» [22].

**Преобразование горных пород.** Микроорганизмы могут играть ключевую роль в преобразовании минералов и горных пород. Многие бактерии выделяют в окружающую среду органические кислоты, которые активно растворяют карбонаты. Жизнедеятельность хемолитоавтотрофных микроорганизмов, окисляющих аммиак и серу, приводит к закислению окружающей среды и растворению карбонатных пород. Растворению пород способствуют и органические вещества микробиологического происхождения: экзополисахариды (основной компонент бактериальных биопленок), сидерофоры и другие хелатообразующие соединения и даже клеточные стенки бактерий [29; 25]. С другой стороны, липиды и фосфолипиды бактерий ингибируют растворение пород. Хемолитоавтотрофные процессы вызывают снижение содержания  $\text{CO}_2$  в окружающей среде, что благоприятствует осаждению карбоната кальция из растворов. Более того, клетки микроорганизмов могут выступать в роли центров осаждения и кристаллизации вещества [13].

Связь процессов преобразования горных пород с круговоротом углерода (органотрофными и хемолитоавтотрофными процессами) описана выше. Следует отметить, что в пещерах может существовать целая цепочка взаимосвязанных процессов, разрушающих одни породы и приводящих к образованию других. Ярким примером является пещера активного сернокислотного спелеогенеза Kane Cave (США), в которой, по Bennett et al. [14] обнаружены следующие микробиологические процессы. На дне пещеры, расположенной в известняках, разгружаются сероводородные источники. Сероокисляющие бактерии, образовавшие маты, окисляют сероводород в субкавальных и субазеральных условиях. Образующаяся в результате этого серная кислота разрушает известняк и вызывает отложение гипса, который покрывает стены и пол пещеры. Под матом сероокисляющих бактерий в анаэробной обстановке развиваются сульфатвосстанавливающие бактерии, продуцирующие сероводород и летучие органические соединения серы, которые также окисляются сероокисляющими бактериями. Авторы делают вывод, что как микробное потребление, так и микробное образование серосодержащих газов являются частью пещерообразующего процесса в пещерах кислотного спелеогенеза.

Таким образом, микрофлора пещер имеет происхождение от микрофлоры поверхностных экосистем и в подавляющем количестве случаев не представляет сама по себе исключительного научного интереса, а только в связи с протекающими в пещерах процессами; жизнедеятельность хемолитоавтотрофных микроорганизмов может обеспечивать существование всей остальной биоты пещер в условиях отсутствия поступления органических веществ извне; при исследовании процессов спелеогенеза необходимо учитывать роль микроорганизмов в них.

Известно, что техногенные процессы могут привести к развитию псевдокарста [8, 4], а также могут активизировать идущий процесс образования настоящего карста [3]. Однако, насколько нам известно, никто до настоящего времени не рассматривал загрязнение нефтью (в нашем случае – процесс техногенного происхождения) как причину или запускающий механизм процесса биогенного карстообразования, который усиливает существующий абиогенный процесс. Развитие биогенного карстообразовательного процесса в анаэробной обстановке и активизация карста в сульфатизированных карбонатных породах были известны и ранее [2]. Однако тогда в качестве субстрата для жизнедеятельности бактериальных сообществ выступало автохтонное битуминозное вещество сланцев, находящееся там по естественно-природным причинам, а не привнесенное в результате техногенеза вещество нефти, как в нашем случае. По большому счету, не важно, каково происхождение нефтяного загрязнения: природное оно, техногенное или природно-техногенное.



В любом случае попадание нефти в карстующиеся породы вызовет активизацию аэробной и анаэробной микрофлоры вод и пород и станет причиной биогенного карстообразовательного процесса. Таким образом, в районах развития карста работы по добыче, транспортировке и переработке нефти требуют особого внимания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бруевич С.В. Химия и биологическая продуктивность Черного моря. // Труды Ин-та океанол., Т. VII. М.: Изд-во АН СССР, 1953.
2. Быков В.Н. Нефтегазовое карстование. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2002. 351 с.
3. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1992. 200 с.
4. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карст мира. Пермь, Изд-во Перм. гос. ун-та, 2007. 331 с.
5. Иванов С.Н., Иванов К.С. Альтернативная общепринятой оценка результатов научного сверхглубокого бурения скважин Кольской СГ-3, немецкой КТБ и шведской Гравберг // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ: мат. межд. конф. памяти акад. П.Н. Кропоткина, 20–24 мая 2002 г., Москва. М.: ГЕОС, 2002. С. 134–135.
6. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований. М.: МФ Технонефтегаз, 1998. 260 с.
7. Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликова Н.Н. Введение в геологическую микробиологию. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 239 с.
8. Максимович Г.А. Основы карстования. Пермь, Перм. кн. изд-во, 1963. Т. 1.
9. Максимович Г.А., Быков В.Н. Карст карбонатных нефтегазоносных толщ. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1978. 96 с.
10. Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 4. С. 55–58.
11. Покровский В.А. О нижней границе биосферы на территории Европейской части СССР, по данным региональных геотермических исследований // Труды Ин-та микробиол. АН СССР. Вып. 9. Геологическая деятельность микроорганизмов. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
12. Розанова Е.П., Кузнецов С.И. Микрофлора нефтяных месторождений. М.: Наука, 1974. 197 с.
13. Barton H.A., Northup D.E. Geomicrobiology in cave environments: past, current and future perspectives // Journal of Cave and Karst Studies. 2007. Vol. 69, № 1. P. 163–178.
14. Bennett P.C., Engel A.S., Mabin K., Stern L.A. Sulfur gas dynamics in an aquatic cave ecosystem // Goldschmidt Conference Abstract. 2004. P. 383.
15. Blöchl E., Rachel R., Burggraf S. et al. *Pyrolobus fumarii*, gen. and sp. nov., represents a novel group of archaea, extending the upper temperature limit for life to 113 °C // Extremophiles. 1997. Vol. 1. P. 14–21.
16. Cañaveras J.C., Guezva S., Sanchez-Moral S. et al. On the origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits // Naturwissenschaften. 2006. Vol. 93. P. 27–32.
17. Cañaveras J.C., Hoyos M., Sanchez-Moral S. et al. Microbial communities associated with hydromagnesite and needle-fiber aragonite deposits in a karstic cave (Altamira, Northern Spain) // Geomicrobiology Journal. 1999. Vol. 16, P. 9–25.
18. Caumartin V. Review of the microbiology of underground environments // Bulletin of the National Speleological Society. 1963, Vol. 25, P. 1–14.
19. Davies W.E., Moore G.W. Endellite and hydromagnesite from Carlsbad Caverns // Bulletin of the National Speleological Society. 1957. Vol. 19, P. 24–27.
20. Davis D.G. Extraordinary features of Lechuguilla Cave, Guadalupe Mountains, New Mexico // Journal of Cave and Karst Studies. 2000. Vol. 62, P. 147–157.
21. Deming J.D., Baross J.A. Deep-sea smokers: window to a subsurface biosphere? // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1993. Vol. 57, P. 3219–3230.

22. Engel A.S. Chemoautotrophy // Encyclopedia of caves / eds. by D.C.Culver, W.B. White. Elsevier Academic Press, 2005. P. 90–102.
23. Engel A.S., Porter M.L., Kinkle B.K., Kane T.C. Ecological assessment and geological significance of microbial communities from Cesspool Cave, Virginia // *Geomicrobiology Journal*, 2001. Vol. 18. P. 259–274.
24. Farnleitner A.H., Wilhartitz I., Ryzinska G. et al. Bacterial dynamics in spring water of alpine karst aquifers indicates the presence of stable autochthonous microbial endo-karst communities // *Environmental Microbiology*. 2005. Vol. 7. № 8. P. 1248–1259.
25. Friis A.K., Davis T.A., Figueira M.M. et al. Influence of *Bacillus subtilis* cell walls and EDTA on calcite dissolution rates and crystal surface features // *Environmental Science and Technology*. 2003. Vol. 37. P. 2376–2382.
26. Mahler B.J., Lynch F.L. Muddy waters: temporal variation in sediment discharging from a karst spring // *Journal of Hydrology*. 1999. Vol. 214. P. 165–178.
27. Mahler B.J., Personné J.-C., Lods G.F., Drogue C. Transport of free and particulate-associated bacteria in karst // *Journal of Hydrology*. 2000. Vol. 238. P. 179–193.
28. Musgrove M., Banner J.L. Controls on the spatial and temporal variability of vadose dripwater geochemistry: Edwards Aquifer, central Texas // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. Vol. 68. № 5. P. 1007–1020.
29. Perry T.D., Duckworth O.W., McNamara C.J. et al. Effects of the biologically produced polymer alginic acid on macroscopic and microscopic calcite dissolution rates // *Environmental Science and Technology*. 2004. Vol. 38. P. 3040–3046.
30. Pohl W., Schneider J. Impact of endolithic biofilms on carbonate rock surface // *Natural stone: weathering phenomena, conservation strategies and case studies caves* / eds. by S Siegesmund., T. Weiss, A. Vollbrecht. London: Geological Society. 2002. P. 177–194.
31. Ryan M., Meiman J. An examination of short-term variations in water quality at a karst spring in Kentucky // *Ground Water*. 1996. Vol. 34. P. 23–30.
32. Stetter K.O., Fiala G., Huber G. et al. Hyperthermophilic microorganisms // *FEMS Microbiology Review*. 1990. Vol. 75. № 2–3. P. 117–124.
33. Thrailkill J.V. Origin of cave popcorn // *Bulletin of the National Speleological Society*. 1964. Vol. 27. P. 59.
34. Vlasceanu L., Sarbu S.M., Engel A.S., Kinkle B.K. Acidic cave-wall biofilms located in the Frasassi Gorge, Italy // *Geomicrobiology Journal*. 2000. Vol. 17. P. 125–139.
35. Went F.W. Fungi associated with stalactite growth // *Science*. 1969. Vol. 166. P. 385–386.
36. White W.B. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. N.Y.: Oxford University Press, 1988.

К ФИЗИОЛОГИИ СТИГОБИОНТНЫХ БОКОПЛАВОВ *CRANGONYX CHLEBNIKOVII BORUTZKY, 1928 (CRANGONYCTIDAE)*

N.N. Pan'kov, A.I. Andreev, O.S. Starova, A.S. Maleev, V.M. Shustov  
Perm State University

SOME ASPECTS OF PHYSIOLOGY OF SUBTERRANEAN AMPHIPOD  
*CRANGONYX CHLEBNIKOVII BORUTZKY, 1928 (CRANGONYCTIDAE)*

Summary

The respiration rate, energy balance and temperature environment selection of subterranean amphipod *Crangonyx chlebnikovi* Borutzky, 1928 are investigated. The data on experiments show that the oxygen consumption rate and temp of destruction of these animals don't differ from those of the other crustaceans. The energy balance of *crangonyx* is characterized by rather low production/destruction ratio. It speaks about the lack of feeding. So, the rate of growth and individual productivity of *crangonyx* are much more less than those of the other (epigean) crustaceans. These amphipods preferred the temperature conditions about 18,6°C. We conclude that the long-time evolution of *crangonyx* in the subterranean habitats doesn't result in specific physiological adaptations.

Введение

Стигобионтные бокоплавы *Crangonyx chlebnikovi* Borutzky, 1928, как и другие специализированные обитатели пещер, представляют собой весьма интересный объект для научных исследований. Тем не менее многие стороны жизни этих рачков изучены недостаточно. В научной литературе представлены некоторые сведения о систематическом положении крангониксов Хлебникова, особенностях их морфологии, геологической истории, родственных связях, географическом распространении, численности и пространственной структуре популяций, жизненных циклах, плодовитости, смертности, скорости весового роста [5; 6; 9 и др.]. Однако многие важные вопросы экологической физиологии, изучение которых требует проведения экспериментов в лабораторных условиях, вплоть до недавнего времени находились вне сферы наших технических возможностей.

К числу наиболее интересных аспектов экологической физиологии стигобионтов принадлежат их отношение к температуре (термопреферендум) и особенности протекания обменных процессов. Можно ожидать, что продолжительное существование этих животных в условиях постоянного холода и дефицита пищи имеет следствием адаптивные сдвиги как в термических предпочтениях, так и в характере метаболизма.

Краткая характеристика вида

Крангониксы Хлебникова (рис. 1) – небольшие бокоплавы молочно или грязно-белого цвета, иногда с желтоватым оттенком. Длина половозрелых форм достигает 20–27 мм, а их вес изменяется в пределах 25,6–107,0 мг.

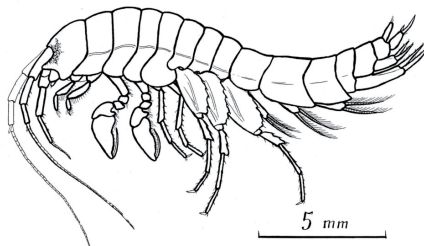


Рис. 1. *Crangonyx chlebnikovi* Borutzky, 1928

Из числа известных обитателей пещер Урала и Приуралья только крангониксы Хлебникова являются специализированными стигобионтами, имеющими выраженные

морфологические адаптации к пещерному образу жизни. Эти рачки лишены органов зрения и кутикулярных пигментов. Цвет крангониксов объясняется беловатыми мышечными волокнами, просвечивающими через стекловидно-прозрачные покровы тела.

Крангониксы Хлебникова впервые попали в руки ученых в самом начале XX в., когда известный биолог П.Н. Каптерев [4] предпринял попытку фаунистического обследования ряда карстовых полостей региона. В водоемах Кунгурской Ледяной пещеры им были обнаружены бокоплавы, которых он принял за представителей стигобионтного рода *Niphargus*, известного из подземных местообитаний Крыма и Кавказа. Не приходится сомневаться, что на самом деле это были еще не описанные в то время крангониксы Хлебникова.

Настоящее открытие этих рачков состоялось несколько позднее, 26 июля 1926 г., когда они были обнаружены Е.В. Боруцким в озерах какой-то ледяной пещеры в долине р. Мечки и описаны им как новый для науки вид, названный в честь первого экскурсовода и хранителя Кунгурской Ледяной пещеры Александра Тимофеевича Хлебникова [8]. Принято считать, что эти находки были сделаны в Большой Мечкинской пещере, хотя никаких указаний ни в архивных документах, ни статье Е.В. Боруцкого на этот счет нет см.: [5].

Крангоникс Хлебникова относится к обширной группе подземно-ключевых амфипод *Synurella-Crangonyx*. Отечественные специалисты традиционно рассматривают ее в составе семейства Gammaridae, зарубежные же систематики склонны придавать ей более высокий таксономический ранг – семейства Crangonyctidae или даже надсемейства Crangonyctoidea, занимающего достаточно обособленное положение в отряде Amphipoda см.: [5].

Принадлежность крангоникса Хлебникова к роду *Crangonyx* Bate, 1859 вплоть до недавнего времени не вызывала сомнений, однако теперь, после тщательных морфологических и кариологических исследований, с достаточными основаниями можно говорить о необходимости выделения его в самостоятельный род, сочетающий признаки голарктического *Crangonyx* и неарктического *Bactrurus* [10].

Известная на сегодняшний день область географического распространения крангониксов Хлебникова ограничивается Кунгурским, Ординским и Суксунским районами Пермского края. Совокупность находок этих рачков позволяет утверждать, что они обладают исключительно узким ареалом, границы которого, скорее всего, не выходят за пределы северной оконечности Уфимского плато. Своей эндемичностью и локальностью распространения *C. chlebnikovi* резко выделяется из современной фауны Урала и Приуралья, для которой свойственно преобладание широкоареальных видов и крайне низкая специфичность [5].

Существует мнение, что крангониксы Хлебникова, как и другие представители семейства Crangonyctidae, являются реликтами тургайской биоты, населявшей обширные пространства Голарктики в позднем палеогене и неогене. По-видимому, амфиподы *C. chlebnikovi* освоили подземные местообитания во время плейстоценовых оледенений и только благодаря этому смогли пережить суровые условия ледниковой эпохи [5].

Из наиболее интересных особенностей биологии крангониксов Хлебникова, несвойственных бокоплавам из поверхностных водоемов, следует отметить весьма значительную максимальную продолжительность жизни (6–8 лет против обычных 1–2) и замедленный рост, темпы которого в 3–36 раз ниже, чем у других представителей отряда. По-видимому, и то, и другое объясняется отчасти низкой температурой воды, отчасти – дефицитом и низким качеством пищи [5].

От ряда других стигобионтов крангониксы Хлебникова отличаются периодическим типом размножения, но эта их особенность среди обитателей подземных водоемов не является уникальной [5].

### Материал и методы его обработки

В экспериментах использовались крангониксы (254 экз.), отловленные в Бабиногорской пещере в октябре–декабре 2009 г. и феврале–марте 2010 г. Бокоплавы, извлеченные из ловушек, помещались в десятилитровый термос, заполненный водой из озера той же пещеры, и в течение трех часов доставлялись в лабораторию. До начала экспериментов рачки содержались в термостатированном аэрируемом аквариуме

с температурой воды 5,0 °С не более трех суток. В ходе экспериментов применялась азрированная вода из Бабиногорской пещеры.

Для измерения скорости потребления кислорода (СПК) применялся метод замкнутых сосудов, или непроточных респирометров [1]. В качестве таковых использовались кислородные склянки объемом 30 мл. Респирометры помещались в термостатированные аквариумы с температурой воды 5,0 °С.

В эксперименте использовались крангониксы (44 экз.) с массой тела 8,0–72,0 мг. Для снижения так называемого «эффекта сосуда» [1] рачки предварительно выдерживались в респирометрах в течение одного часа. Этого времени было достаточно, чтобы потревоженные манипуляциями экспериментатора животные успокоились, и их спонтанная двигательная активность пришла в норму.

Продолжительность эксперимента составляла два часа. Концентрация кислорода в воде за это время снижалась на 11,7–28,8 %. Одновременно в контрольной серии экспериментов определялось изменение содержания кислорода в воде респирометров без крангониксов.

Концентрация кислорода измерялась при помощи амперометрического датчика растворенного кислорода с термоэлектрическим преобразователем ДКТП-02 в комплекте с мультиметром «Эксперт-001М».

При внесении температурных поправок в уравнение связи СПК с весом тела крангониксов коэффициент Вант-Гоффа  $Q_{10}$  в соответствии с существующими рекомендациями [3], принимался равным 2,25. Многие авторы, обобщавшие данные по зависимости СПК от термического фактора у водных пойкилотермных животных, отмечали весьма существенное уменьшение коэффициента  $Q_{10}$  по мере роста температуры воды (с 3,5 в интервале 5–10 °С до 2,5 в интервале 15–20 °С), более или менее точно описывающееся кривой Крога см.: [1]. Однако, как было показано Г.Г. Винбергом [3], эта закономерность была выявлена на основе данных, полученных в ходе «острых» экспериментов или вследствие применения уравнения Аррениуса для описания этих данных. У животных, полностью акклиматизированных к термическим условиям эксперимента, снижения коэффициента  $Q_{10}$  не отмечалось. Поэтому Г.Г. Винберг предложил использовать для всех интервалов температуры постоянное значение коэффициента  $Q_{10}$ , величина которого для водных пойкилотермных животных в среднем составляет 2,25.

При расчете энергетического баланса особи использовались данные по скорости весового роста крангониксов из Бабиногорской пещеры [5], при этом калорийность рачков, в соответствии со средним для бокоплавов значением, принималась за 3,2 кДж/г сырого веса [1]. Оксикалорийный коэффициент принимался за 14,2 кДж/мгО [1].

Термические предпочтения крангониксов определялись при помощи термоградиентной установки (ТГУ) оригинальной конструкции. Ее основой служил алюминиевый желоб с плоским дном шириной 10 см. ТГУ обеспечивала близкий к линейному градиент температур в придонном слое воды в диапазоне от нуля до 21,2 °С

на участке протяженностью 2,0 м. Для удобства регистрации положения рачков в температурном градиенте дно ТГУ было размечено на отрезки с шагом 10 см. Крангониксы (30 экз.) помещались компактной группой на «холодный» участок ТГУ (с температурой от нуля до 6,4 °С). Изменение положения рачков на ТГУ регистрировалось каждые два часа на протяжении суток.

Кроме круглосуточного, проведено 12 кратковременных экспериментов продолжительностью 1–3 ч. каждый. В кратковременных экспериментах использовалось по 15 рачков.

Для статистического анализа данных использовались пакеты Microsoft Office Excel 2003 и Statistica 6.0. При расчете стандартной ошибки средней арифметической уровень значимости принимался равным 0,05. Достоверность различий оценивалась с помощью парного t-критерия Стьюдента.

### **Скорость метаболизма**

Наиболее информативным, содержательным и доступным показателем интенсивности обмена водных животных является скорость потребления кислорода. Это важнейшая эколого-физиологическая характеристика животных, тесно связанная с



их ростом, питанием, размножением, диссипацией энергии и выражающая совокупный результат физиологических и биохимических процессов, протекающих в живом организме.

Как известно, СПК пойкилотермных животных ( $Q$ , мгО/ч) связана степенной зависимостью с их массой ( $W$ , грамм сырого веса). Многочисленными экспериментами показано [см.: 1], что для ракообразных при 20 °С эта зависимость описывается уравнением

$$Q=0,18W^{0,75}. \quad (1)$$

Анализ результатов оригинальных опытов позволил установить, что зависимость СПК крабониксов от массы тела описывается уравнением

$$Q=0,049\pm0,011W^{0,75}. \quad (2)$$

Та же зависимость, приведенная к 20 °С, описывается уравнением

$$Q=0,165\pm0,038W^{0,75}. \quad (3)$$

Таким образом, интенсивность обмена крабониксов Хлебникова практически не отличается от уровня, характерного для ракообразных в целом.

### Энергетический баланс особи

Как известно, вещественной и энергетической основой существования любого животного является пища, или *рацион* (С). В процессах пластического обмена усвоенная часть рациона (ассимилированное органическое вещество – А) частично расходуется на прирост массы тела особи, образование половых продуктов и прижизненно отторгаемых веществ, в своей совокупности обозначаемых термином *продукция* (Р). Другая его часть в процессе дыхания окисляется (подвергается *деструкции* – R), а выделившаяся при этом энергия расходуется на обеспечение жизнедеятельности и в конечном итоге рассеивается в виде тепла. Продукция и энергетический обмен у животных находятся в закономерной связи друг с другом, которую принято выражать в виде так называемого *рост-обменного коэффициента* (V). У некоторых представителей отряда Amphipoda из поверхностных водоемов этот показатель составляет 0,16 см.: [1].

Рядом исследований было показано, что большинство ракообразных, в том числе и амфиподы, независимо от половой принадлежности обладают S-образным типом роста, эмпирические кривые которого описываются уравнением Бергаланфи

$$dW/dt=mW^{1-n}-kW, \quad (4)$$

где  $W$  – сырой вес особи (мг);  $(-kW)$  – фактор, замедляющий скорость роста;  $m$ ,  $n$  и  $k$  – константы.

Резкое снижение скорости соматического роста приходится на репродуктивный период и связано с отторжением половых продуктов. Однако суммарная скорость соматического и генеративного роста бокоплавов ( $P$ , мг сырого веса в год) может быть аппроксимирована единой степенной функцией вида

$$P = a W^b, \quad (5)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты.

Показатель степени  $b$  уравнения (5) изменяется в широких пределах, но в подавляющем большинстве случаев приблизительно равен 0,75. Это объясняется наличием системы аллометрических зависимостей, связывающих показатели, производные от площади и объема отдельных структур живого существа, например площади его дыхательных поверхностей и массы физиологически активных тканей. При увеличении размеров животного эти зависимости накладывают определенные ограничения на соответствующий рост интенсивности обмена, теоретически

ожидаемая величина которого, при сохранении геометрического подобия организмов, пропорциональна весу тела в степени 2/3. Эти ограничения частично компенсируются некоторыми морфо-анатомическими изменениями и физиологическими реакциями, поэтому показатель степени в уравнении (5) имеет значения, промежуточные между 0,66 и единицей, в среднем составляя 0,75 [7].

Для крабоников из Бабиногорской пещеры уравнение (5) имеет вид

$$P = 5,49 \pm 1,22 W^{0,19 \pm 0,01}. \quad (6)$$

Если продукцию выразить в энергетических единицах (в джоулях в год), та же зависимость приобретает вид

$$P = 17,57 \pm 3,91 W^{0,19 \pm 0,01}. \quad (7)$$

Показатель степени в уравнениях (6) и (7) значительно меньше обычных 0,75, что свидетельствует о более интенсивном торможении скорости роста рачков по мере увеличения веса их тел, чем это наблюдается у большинства других многоклеточных животных.

Скорость деструкции органических веществ в метаболических путях крабоников непосредственным образом связана с интенсивностью дыхания и может быть определена путем умножения СПК на оксикалорийный коэффициент. В этом случае зависимость скорости деструкции (в кДж в год) от веса особи (мг сырого веса) может быть аппроксимирована уравнением

$$R = 6,01 \pm 1,37 W^{0,75}. \quad (8)$$

Из уравнений (7) и (8) нетрудно получить выражение, отражающее связь рост-обменного коэффициента с весом тела крабоников:

$$V = 2,92 W^{-0,56}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что доля ассимилированной пищи, идущая на прирост массы особи и образование половых продуктов, с возрастом рачков закономерно уменьшается. Это явление отмечено и для других пойкилотермных животных [1]. В изученном весовом диапазоне крабоников величина рост-обменного коэффициента падает с 0,14 до 0,05, в среднем составляя 0,08. Указанное значение вдвое меньше, чем известно для амфипод из поверхностных водоемов [1], что говорит о низкой эффективности использования пищи крабониками на рост. Этот факт лишний раз подтверждает уже высказанное мнение о недостатке пищи в подземных местообитаниях [5; 6]. По-видимому, доступные крабоникам объемы детрита покрывают потребности этих рачков в энергии, но не обеспечивают необходимого уровня пластического обмена.

### Термопреферендум

Визуальные наблюдения за поведением крабоников в температурном градиенте показали, что их перемещения вдоль оси ТГУ по совокупности траекторных признаков могут быть разделены на три фазы (рис. 2).

Во время фазы рачки, помещенные в ТГУ, начинают энергично двигаться в разных направлениях. При этом на фоне хаотичных метаний проявляется четко выраженная тенденция к постепенному смещению средней температуры позиций, занятых рачками (СТП), в область более высоких значений. Одновременно с СТП к «теплому» участку ТГУ сдвигаются центр плотности и обе температурные границы скопления крабоников. Эта тенденция продолжается 8–10 ч.; в течение указанного временного промежутка СТП увеличивается на 16,9 °С, достигая 20,1 °С, а все бокоплавы концентрируются в температурном диапазоне 17,3–21,2 °С.

Интересно отметить, что во время движения вдоль ТГУ крабоники четко

подразделяются на две неравные группы.

Первая группа, включающая 1/3 общего количества рачков, быстро вырывается вперед и уже через четыре часа после начала эксперимента обнаруживается на «теплом» конце установки. Во время кратковременных опытов их компактное скопление порою оказывалось в области максимальных температур даже быстрее – уже через час после начала эксперимента.

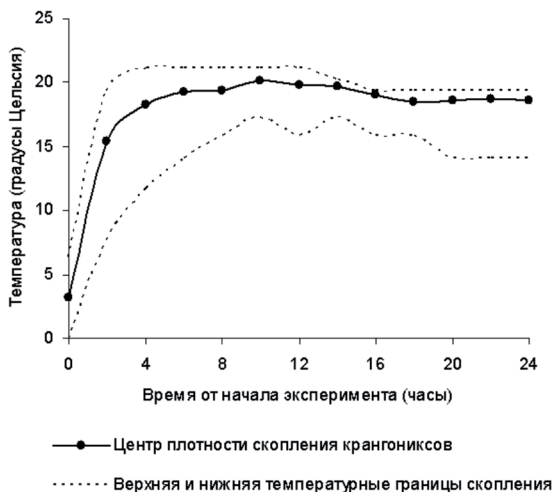


Рис. 2. Динамика распределения крангониксов в температурном градиенте

Вторая группа (2/3 общего количества крангониксов) движется в градиенте температур значительно медленнее, причем между нею и группой «быстрых» крангониксов сразу устанавливается заметная дистанция.

Соприкосновение границ этих групп происходит только через шесть часов после начала эксперимента, а еще через два часа оба скопления крангониксов сливаются и перемешиваются настолько, что их различение становится невозможным.

Поскольку дифференциация рачков по скорости движения в температурном градиенте обнаружилась лишь при анализе результатов эксперимента, мы опоздали с установлением возрастного и полового состава обеих групп крангониксов. В этой связи вопрос о том, чем обусловлено такое различие, остается открытым. Пока же складывается общее впечатление, что группа «быстрых» крангониксов представлена более крупными и сильными особями, в то время как среди «медленных» рачков встречаются как небольшие, так и крупные особи.

Вторая фаза наступает через 10–12 ч. после начала эксперимента. В это время крангониксы двигаются вдоль температурного градиента в обратном направлении, причем представители «быстрой» группы начинают активно покидать «теплую» зону уже через 6–8 ч. после начала опыта. Именно в это время они встречаются с «медленными» крангониксами, и обе группы, как отмечалось выше, сливаются и перемешиваются.

Третья фаза наступает через 16–18 ч. после начала эксперимента. В это время положение «центра тяжести» скопления крангониксов на ТГУ более или менее стабилизируется. В последующие 8–10 ч. опыта наблюдаются ритмичные «пульсации» области наибольшей плотности крангониксов (свыше 90 % их численности) в пределах 14,1–19,4 °C, сопровождающиеся циклическим движением СТП возле 18,6 °C с амплитудой порядка 0,1 °C. По-видимому, такие «пульсации» связаны, с одной

стороны, с реакцией избегания рачками друг друга при их непосредственном контакте, с другой – их стремлением в область предпочитаемых температур.

Результаты краткосрочных опытов, за исключением некоторых незначительных деталей, согласуются с данными круглосуточного эксперимента.

Таким образом, крагониксы Хлебникова предпочитают более высокие температуры, чем те, при которых они обитают в естественных условиях (как правило, не выше 5,5 °С). Принимая во внимание, что их предки обитали в поверхностных водах с другим температурным режимом, можно предположить, что «генетическая память» крагониксов сохранила иные представления об оптимальном для вида диапазоне температур, отличных от тех, которые предоставляет им подземная среда обитания в настоящее время.

### Заключение

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод, что длительная эволюция вида в условиях подземных местообитаний не привела к возникновению у крагониксов специфических особенностей в части физиологических и поведенческих адаптаций к низким температурам. Такая примечательная черта биологии этих рачков, как тугорослость, обусловлена исключительно влиянием внешней среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л.: Наука, 1981. 248 с.
2. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.
3. Винберг Г.Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии // Журн. общей биологии. 1983. Т. 44. № 1. С. 31–42.
4. Каптерев П.О. О некоторых пещерах Пермской и Казанской губерний // Землеведение. 1913. Вып. 1–2. С. 169–177.
5. Паньков Н.Н. Основные итоги изучения крагониксов Хлебникова – обитателей подземных вод Кунгурского края // Горное эхо: Вестник Горного института УрО РАН. 2008. № 1(31). С. 29–40.
6. Паньков Н.Н., Старова О.С. Демография и репродуктивная биология *Crangonyx chlebnikovi* Borutzky, 1928 (Amphipoda: Gammaridae) из трех пещер Приуралья // Вестн. Перм. ун-та. 2009. Вып. 10 (36). Биология. С. 55–61.
7. Шмидт-Нильсен К. Размеры животных: почему они так важны? М.: Мир, 1987. 259 с.
8. Borutzky E. W. Materialien über die Fauna der unterirdischen Gewässer, *Crangonyx chlebnikovi* sp. n. (Amphipoda) aus den Höhlen des mittleren Urals // Zool. Anz. 1928. Bd. 77. P. 253–259.
9. Pan'kov N.N. The main results of studying of amphipods *Crangonyx chlebnikovi* in the underground water of Kungur district // 3rd Int. Workshop on Ice Caves (IWIC – III) – Kungur Ice Cave, May, 12–17, 2008. Volume of Abstracts. P. 44–45.
10. Sidorov D.A., Pan'kov N.N., Krashenninnikov A.B. A Bactrurus-like subterranean amphipod (Crangonyctidae) from the Ural Mountain karst region // 20th International Conference on Subterranean Biology: abstract book. Postojna, Slovenia, aug. 29 – sept. 3, 2010. Postojna, 2010. P. 145.

---

А.А. Семиколенных, А.А. Рахлеева, Т.В. Попутникова  
*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,  
факультет почвоведения*

**ВЛИЯНИЕ ОТХОДА ОТРАБОТКИ КАРБИДА КАЛЬЦИЯ НА  
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПЕЩЕР И КАМЕНОЛОМЕН**

---

А.А. Semikolennykh, A.A. Rakhleeva, T.V. Poputnikova  
*Moscow State University, Soils Faculty*

**AN ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF SPENT CALCIUM CAR-  
BIDE DISPOSAL IN CAVES AND MINES**

**Summary**

It was shown that spent carbide is toxic for biota and harmful to cave ecosystems and the surrounding environment. The toxic components of spent carbide waste were found to include calcium hydroxide, strontium and polycyclic aromatic hydrocarbons. The toxicity of spent carbide declined only slowly over time, with toxicity still present in 13-year-old samples. Spent carbide should be disposed of with great care to ensure that it cannot be disseminated into natural water systems.

**Введение**

Проблема размещения и утилизации отходов в последние годы резко обострилась из-за роста народонаселения, промышленного производства и накопления критической массы вредных отходов прошлых лет. В данной работе мы рассматриваем негативные воздействия на биоту и окружающую среду в целом такого отхода, как отработка карбида кальция, широко применяющегося для получения ацетилена в промышленном производстве и в спелеологии.

Карстовые пещеры и горные выработки могут являться местом размещения отходов группами туристов, исследовательскими экспедициями спелеологов, оказываясь серьезным фактором негативного антропогенного воздействия на пещеры, химической и санитарно-эпидемиологической опасности для экосистем пещер и новых групп посетителей, изменять санитарные показатели подземных вод, которые в ряде случаев играют важную роль в водоснабжении регионов.

Карбид кальция (углеродистый кальций, ацетеленид кальция, карбит) ( $\text{CaC}_2$ ) — в чистом виде белое кристаллическое вещество. Хранят без доступа влаги. При соединении с водой карбид кальция разлагается, образуя ацетилен:  $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca(OH)}_2$ . Технический карбид кальция (ТУ 6–01–1347–87 «карбид кальция специальный») [10] — вещество, прошедшее промышленную переработку с использованием некондиционного сырья (прокаленных кристаллических известняков, высокозольного сланцевого и доменного кокса, твердых органических отходов и других). Полученный по таким технологиям технический карбид кальция имеет грязную окраску из-за загрязнения углем и другими примесями, например соединениями серы и фосфора, вследствие чего полученный из карбида ацетилен имеет неприятный запах.

В соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) отход отработки карбида кальция классифицируется как «ил карбидный» и относится к «минеральным шламам» (код ФККО — 316 000 00 00 00 0) или «отходам окислов и гидроокислов» (код ФККО — 513 000 00 00 00 0). В качестве основы состава в паспортах опасного отхода указывается — гидроксид кальция и примеси (от 3 до 22 % по разным данным), опасные свойства могут быть указаны иногда как — «острая токсичность для окружающей среды», а иногда как — «не установлены»; класс опасности



отхода – четвертый. Следует отметить, что класс опасности отхода, как правило, устанавливается расчетным способом на основе данных технических условий на карбид кальция и химизма образования отхода, аналитические испытания образцов конкретной партии отхода и тестирование на биологических объектах не проводятся.

В пещерах карбид кальция активно применяется для производства осветительного ацетилена с 1940-х годов. Отходы (отработка карбида кальция) обычно размещаются спелеологами непосредственно в пещере на месте перезарядки газогенератора.

Базовым исследованием токсического действия отхода карбида кальция на пещерных жуков *Ptomaphagus hirtus* является работа Пек [15]. Яйца жуков, экспонированные в отработке карбида кальция, были подвержены токсическому воздействию. Большинство личинок жука, появившихся из яиц, погибло, в то время как контрольная популяция развивалась нормально.

Исследования токсического действия карбида на микроорганизмах были выполнены впервые Агагабяном [1]. Водный раствор отхода в концентрации 0,5 % (разведение 1:200) вызывал гибель бактерий в течение 10 мин. Отмечено также, что грамположительные бактерии отличались несколько более повышенной резистентностью к токсическому действию по сравнению с грамотрицательными.

Серьезная попытка анализа токсичности отхода карбида кальция по воздействию на гетеротрофные микроорганизмы в пещерах была предпринята Лавои [13]. Автор выполнил ряд опытов *in situ* и *in vitro*. Было показано, что отход карбида кальция вызывает гибель большинства клеток микроорганизмов в течение 10 мин. уже в концентрации 0,1 % (разведение 1:1000). При этом в условиях пещеры в грунтах под отходом численность микроорганизмов почти не отличалась от показателей для контрольного участка. Такой феномен автор связывает с тем, что главным агентом токсичности является высокое значение водородного показателя (рН около 11,2), и при экспонировании в окружающей среде за счет реакции с углекислотой воздуха происходит «нейтрализация» токсичности. В эксперименте по нейтрализации рН отхода изменился с 11,2 до 6,3 за 25 дней естественным образом и за 10 дней при дополнительной принудительной аэрации. Повторный опыт с «нейтрализованным» карбидом до рН 6,3 показал отсутствие токсичности на протяжении 60 мин. для культуры *E.coli*. В целом автор пришел к выводу, что отход очень токсичен, но быстро теряет токсичность со временем и зона проявления эффекта в пещере носит локальный характер.

Задачи нашей работы состояли в том, чтобы в серии экспериментов установить токсичность для живых организмов отработки промышленного карбида кальция, производимого по техническим условиям, действующим в Российской Федерации [10] и широко применяемого советскими и российскими спелеологами, и обратить особое внимание на процессы изменения токсичности во времени, в том числе для отходов, размещенных в пещере годы и десятилетия тому назад.

### Объекты

Были использованы две серии образцов:

I серия

*Образец «исходный» («свежая отработка карбида», образец 1а).* Образец был произведен непосредственно перед экспериментами путем реакции карбида кальция с водой в газогенераторном бачке, предназначенном для получения осветительного ацетилена.

Свежий образец имеет вид влажного порошка с отдельными более плотными агрегатами, разрушающимися при надавливании, светло-серого цвета с отдельными мелкими темными и белыми вкраплениями, резким неприятным запахом. Влажность после стекания гравитационной воды составляла 25 % (0,25 г воды на 1 г образца).

На основе «исходного» образца (образец 1а) был проведен модельный опыт. Модельный опыт был заложен в Никитской каменоломне (Московская область, Подольский район, с. Никитское). Для этого была выбрана ровная площадка, покрытая глиной, куда насыпался свежеполученный отход (образец 1а) в количестве около 100 гр. Перед размещением отхода отбирался образец глины для определения

количества микроорганизмов. Экспозиция отхода продолжалась 1 мес., после чего для микробиологических анализов были повторно отобраны пробы грунта в слое 0–1 см непосредственно под навалом отхода, а также средняя контрольная проба, смешанная из нескольких образцов не ближе 1 м от места расположения отхода. Также был отобран образец отхода для повторного определения токсичных свойств и химического состава после экспозиции в окружающей среде (**образец 1б**). Кроме того, определение химического состава карбида было проведено в остатке образца 1б после приготовления водной вытяжки (**образец 1в**).

## II серия

*Образцы разного возраста, отобранные в пещерах, экспонированные в окружающей среде.* Данные образцы были отобраны непосредственно в каменоломнях и пещерах в местах, относительно которых имелась информация о сроках экспонирования отхода в подземном пространстве (персональные комментарии).

**Образец 2** – образец из Никитской каменоломни (Московская область), зал Амфитеатр, 150 метров от входа. Срок экспозиции 1–2 года.

**Образец 3** – образец из Никитской каменоломни (Московская область), отобранный в проходе пещеры 300 м от входа. Срок экспозиции 3–4 года.

**Образец 4** – образец из пещеры Снежная (Бзыбский хребет, Абхазия), окрестности зала Гремячий. Срок экспозиции 2 недели.

**Образец 5а** – образец из пещеры Бареншахт (Barenschacht) (Швейцария), с глубины 550 метров, в районе полусифона. Срок экспозиции 13 лет.

**Образец 5б** – образец 5а после приготовления водной вытяжки без предварительной растирки образца.

**Образец 5в** – образец 5а после приготовления водной вытяжки с растиркой образца в фарфоровой ступке.

Для контроля изменения pH был использован образец чистой гидроокиси кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) квалификации – чистый для анализа.

## Методы

*Валовой анализ в порошке.* Анализ образцов проводился рентген-флуоресцентным методом на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном анализаторе TEFA.

*Определение полиароматических веществ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии* выполнялось в спиртовой вытяжке в соответствии с [8].

*Изготовление водной вытяжки и определение ее pH.* С учетом влажности готовили водную вытяжку из соотношения (твердая фаза: жидкость), равного (1:10) [2]. В качестве жидкости использовали культивационную воду Bon Aqua. Определение pH водной вытяжки проводили на приборе Hanna pH 211.

*Биотестирование.* Биотестирование полученных водных вытяжек проводили на трех тест-объектах: дафниях (*Daphnia magna* Straus) в соответствии с [12], инфузориях (*Paramecium caudatum* Ehrenberg) в соответствии с [11]<sup>1</sup>, а также рыбах (*Danio rerio* Hamilton-Buchanan) по методике [9] с изменением вида тест-объекта (данио вместо гуппи) и возраста (рыбья молодь возрастом 2 недели вместо мальков возрастом 2 сут.).

*Вегетационные опыты.* Вегетационные тесты ставились с семенами овса (*Avena sativa*) по следующей методике. В горшочки объемом 100 мл насыпалась смесь отработки карбида кальция и плодородного грунта для рассады (pH 5,5–6,0). Было приготовлено 4 варианта опыта в двойной повторности. Вариант 1 (контроль) – 100 % плодородный грунт; вариант 2 – 90 % грунта и 10 % отхода (в объемных долях);

вариант 3 – 75 % грунта и 25 % отхода; вариант 4 – 50 % грунта и 50 % отхода. В горшочки было заделано на глубину 3–5 мм по 20 семян овса, грунт увлажнен до 60 % влажности. Инкубация проводилась при 23 °С. Контролировались сроки появления проростков и показатели их роста на 3-й, 7-й и 11-й день.

*Определение содержания углерода карбонатов и органического вещества* выполнялось методом сухого озоления при 1000 °С с последующим измерением

<sup>1</sup> Данные методики применяются в лаборатории экотоксикологического анализа: [www.letap.ru](http://www.letap.ru), МГУ, ф-т почвоведения

выделившейся углекислоты путем кулонометрического титрования с помощью автоматического анализатора Ан-7529. Для определения карбонатов отдельная навеска образца для разрушения карбонатов обрабатывалась предварительно концентрированной соляной кислотой, затем определялось содержание общего углерода и вычислялась разница.

*Микробиологические анализы.* Количество микроорганизмов определялось методом посева разведений почвенной суспензии на мясо-пептонный агар («общее микробное число») по стандартным методам [4; 7].

### **Результаты и обсуждение**

Результаты определения валового химического состава отработки карбида кальция представлены в табл. 1.

Химический валовой состав исследованных образцов отработки карбида кальция характеризуется содержанием нерастворимого и инертного осадка, состоящего из соединений кремния, алюминия и железа на уровне 5–7 %. Массовую долю около 90 % занимают соединения кальция и в меньшей степени магния (вероятно, гидроокислы). Обнаружено заметное содержание серы и хлора. Практически во всех образцах выявляется высокое содержание стронция, большая часть которого вероятно, присутствует в соединениях с серой. Содержание тяжелых металлов в целом незначительно.

При обработке осадка водой происходит сравнительная незначительная потеря калия и части стронция. В целом состав осадка после взбалтывания в воде сильно не изменяется.

Сравнительное содержание углерода карбонатов и органического вещества приводится в табл. 2. Содержание органического вещества в образцах составляет около 1,5–2%, за исключением образца, отобранного в пещере Бареншахт, где содержание органического углерода составило 3,55 %. Ожидалось, что большая часть органического углерода представлена углистыми частицами, однако заметно, что в образце из пещеры Бареншахт (5а, 5б и 5в) часть органического вещества переходит в водный раствор.

В свежем образце отработки карбида карбонатов не выявлено. Карбонатизация гидроокиси кальция начинается через некоторое время, но процесс этот медленный. После экспозиции 1 мес. в атмосфере пещеры содержание углерода карбонатов возросло с 0 до 1,08 %. В образцах возрастом 3–4 года углерод карбонатов характеризовался содержанием чуть более 4 %, а в самом старом образце из пещеры Бареншахт возрастом 13 лет – составлял около 6,5 %. Обработка водой комков отхода увеличивает скорость карбонатизации, однако незначительно. При предварительном измельчении отхода в порошок углерод связывается в карбонат быстрее.

Результаты измерений водных значений рН исследованных образцов отработки карбида кальция представлены в табл. 3. Водородный показатель исходных вытяжек всех исследованных образцов лежит в области резко щелочных значений. Это можно объяснить прежде всего тем, что в составе отхода преобладает гашеная известь ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), которая в чистом виде имеет значение рН 12,8. Ранее отмечалось [13], что нескольких недель достаточно для снижения рН по естественным причинам. Однако эти наблюдения проводились в жидкой среде для водного раствора отхода.

Таблица 1

Валовой химический состав исследуемых вариантов отработки карбида кальция

Элемент	Единицы измерения	Средний состав отхода	Никитская каменоломня					Образец из пещеры Снежная	Образец из пещеры Бареншхат (Barenschacht)			
			Исходный карбид	Исходный карбид после приготовления водной вытяжки	Образец из Никитской каменоломни и (зап Амфитеатр)	Образец из Никитской каменоломни с прохода	Образец из пещеры Снежная		Исходный образец из пещеры	Исх. образец после приготовления водной вытяжки без растрйки	Исх. образец после приготовления водной вытяжки с растржкой	Исх. образец
Образец			1а	1б	1в	2	3	4	5а	5б	5в	5в
Возраст			0	1 месяц	1 месяц	1-2 года	3-4 года	2 недели		13 лет		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,721	1,145	0,943	1,093	0,522	0,634	0,737	0,568	0,764	0,568	0,845
SiO <sub>2</sub>	%	5,411	5,892	7,827	7,494	6,006	5,291	5,272	4,595	6,818	4,595	6,003
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SO <sub>3</sub>	%	0,429	0,207	0,285	0,183	0,605	0,223	0,474	0,638	0,593	0,638	0,761
Cl	%	0,123	<0,001	0,078	0,073	0,437	0,050	0,026	0,104	0,109	0,104	0,091
K <sub>2</sub> O	%	0,187	0,122	0,226	0,106	0,404	0,188	<0,001	0,222	0,178	0,222	0,132
CaO	%	45,170	45,478	44,432	42,669	45,499	45,540	45,176	44,155	42,877	44,155	43,135
MgO	%	0,561	1,281	0,587	0,655	0,060	0,410	0,639	0,416	0,569	0,416	0,706
TiO <sub>2</sub>	%	0,106	0,098	0,160	0,126	0,113	0,071	0,177	0,069	0,126	0,069	0,086
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,002	0,007	0,001	0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001
MnO	%	0,003	0,003	0,002	0,002	0,010	0,009	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	0,004
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,342	0,327	0,381	0,515	0,315	0,337	0,257	0,472	0,637	0,472	0,458
Ni	мкг/г	9	45	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cu	мкг/г	6,6	5	<1	12	<1	<1	17	11	<1	11	<1
Zn	мкг/г	10,2	8	50	15	21	<1	11	11	13	11	26
As	мкг/г	3,4	<1	9	<1	6	<1	5	6	<1	6	<1
Br	мкг/г	0	<1	6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pb	мкг/г	0,8	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	мкг/г	1532	500	422	447	2685	270	3932	272	226	272	219
Y	мкг/г	7,2	9	11	9	7	10	10	10	14	10	6
Zr	мкг/г	38,8	6	60	54	52	44	50	42	61	42	39

<sup>2</sup> Средний состав отхода карбида кальция рассчитан как среднее для образцов 1а, 2, 3, 4, 5а

Таблица 2

Содержание общего, карбонатного и органического углерода в образцах отхода

№	Образец	Возраст	С общ., %	С карб., %	С орг., %
1а	Исходный карбид	0	1,55	0	1,55
4	Образец из пещеры Снежная	2 недели	1,76	0,41	1,35
1б	Исходный карбид	месяц	3,26	1,08	1,68
1в	Исходный карбид после приготовления водной вытяжки	месяц	4,89	3,31	1,58
3	Образец из Никитской каменоломни, с прохода	3–4 года	6,21	4,31	1,9
5а	Образец из пещеры Бареншахт (Barenschacht)	13 лет	9,96	6,41	3,55
5б	Образец из пещеры Бареншахт (Barenschacht) после приготовления водной вытяжки без растирки	13 лет	8,34	6,51	1,83
5в	Образец из пещеры Бареншахт (Barenschacht) после приготовления водной вытяжки с растиркой	13 лет	9,38	9,25	0,13

Таблица 3

Водородный показатель (рН) различных разведений водной вытяжки из исследованных образцов отработки карбида кальция

Разведение	Никитская каменоломня		Образец из Никитской каменоломни с прохода	Образец из пещеры Бареншахт (Barenschacht)		Гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , чда
	Исходный карбид	Исходный карбид после экспозиции в пещере		Исх. образец после приготовления водной вытяжки без растирки	Исх. образец после приготовления водной вытяжки с растиркой	
Образец	1а	1б	3	5б	5в	
Возраст	0	1 месяц	3–4 года	13 лет	13 лет	0
1:10 (исходное)	12,5	12,8	10,5	12,4	12,7	12,8
1:100	9,6	11,6	8,8	11,3	11,6	11,3
1:1000	8,7	7,4	6,8	7,1	7,1	8,1

Таблица 4

Состав органического вещества для исходного образца карбида кальция

Показатель	Ед. изм.	Значение	ПДК для почв в соответствии с [3]
Фенолы (суммарно)	мг/кг	22,80	не установлено
Крезолы (суммарно)	мг/кг	11,00	не установлено
Бензол	мг/кг	0,54	0,3
Толуол	мг/кг	2,06	0,3
Эфиры карбоновых кислот	мг/кг	9,50	не установлено
Полиароматические соединения (ПАУ) (суммарно). В том числе:	мг/кг	11,48	не установлено
Флуорен	мг/кг	10,40	не установлено
Антрацен	мг/кг	0,17	не установлено
Пирен	мг/кг	0,30	не установлено
Бенз(а)пирен	мг/кг	1,05	0,02
Прочие	мг/кг	0,56	не установлено

Наши данные, построенные на наблюдении за свойствами твердого осадка, свидетельствуют, что на протяжении по крайней мере десятилетия отход не превращается в карбонат кальция, и даже через 13 лет рН отхода все еще остается сильно щелочным.



Данные о составе органического вещества для исходного образца отработки карбида кальция (1а) представлены в табл. 4. Для сравнения в правом столбце приводятся предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ для почв. Данные химического анализа показывают, что в составе органики отхода присутствует сразу несколько токсичных веществ и по всем наблюдается превышение допустимых концентраций. Заметнее всего значительное содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в частности бенз(а)пирена, концентрация которого превышает предельно допустимые значения для почвы в 50 (!) раз.

В табл. 5 представлены результаты биотестирования образцов отработки карбида кальция с использованием ракообразных *Daphnia magna*, инфузорий *Paramecium caudatum*, а также пресноводных рыб *Danio rerio* в различных разведениях. Во всех образцах отработки карбида кальция летальная кратность разбавления, при которой наблюдалась гибель более 50 % экспериментальных особей (ЛКР), составила 1:100. Лишь для образца гашеной извести летальная кратность разбавления составила 1:10. На основании полученных результатов все исследованные образцы отработки карбида кальция необходимо относить к III классу опасности отходов [5].

Таблица 5

Определение токсичности исследуемых образцов отработки карбида кальция по смертности (%) *Daphnia magna*, *Paramecium caudatum*, а также рыб *Danio rerio*

Разведение	Никитская каменоломня		Образец из Никитской Каменоломни, с прохода	Образец из пещеры Бареншacht (Barenschacht)	Гашеная известь Са(ОН) <sub>2</sub> , чда
	Исходный карбид	Исходный карбид			
Образец	1а	1б	3	5а	—
Возраст	0	месяц	3–4 года	13 лет	0
<b>Биотестирование с <i>Daphnia magna</i></b>					
Н <sub>2</sub> О контроль	0	0	0	0	0
1:10 (10 %)	100	100	100	100	100
1:100 (1 %)	70	83	54	55	0
1:1000 (0,1 %)	40	10,3	0	41,4	0
1:10000 (0,001 %)	0	0	0	0	0
<b>Биотестирование с <i>Paramecium caudatum</i></b>					
Н <sub>2</sub> О контроль	0	0	0	0	0
1:10 (10 %)	100	100	100	100	100
1:100 (1 %)	70	98	51	78	30
1:1000 (0,1 %)	40	0	0	32	12
1:10000 (0,001 %)	0	0	0	0	0
<b>Биотестирование с <i>Danio rerio</i></b>					
Н <sub>2</sub> О контроль	0		не проводилось		
1:10 (10 %)	100		не проводилось		
1:100 (1 %)	100		не проводилось		
1:1000 (0,1 %)	0		не проводилось		
1:10000 (0,001 %)	0		не проводилось		

Характеристика общей токсичности отхода в составе грунтов по развитию проростков семян овса приводится в табл. 6. Действующей может быть признана такая концентрация вещества, которая вызвала торможение развития проростков не менее чем на 20 % относительно контроля [6]. Наблюдение за развитием проростков производилось по показателю количества проросших семян и по высоте побега. В контрольной повторности на 7-й день наблюдалось развитие всех 20 проростков, достигающих средней высоты 12 см, а на 11-й день – 21 см.

При выращивании овса в грунте с добавлением свежего отхода карбида кальция

наблюдается выраженный эффект подавления роста растений. Уже при наличии в составе грунта отхода в количестве 10 % в 2 раза уменьшилось как количество проросших семян, так и их морфометрические характеристики. Внесение 50 % отхода в грунт полностью подавило развитие семян овса в течение 2-недельного опыта. При экспозиции карбида кальция в течение 1 мес. в подземных условиях токсичность грунта с отходом несколько снизилась (отклонение от нормы при содержании в грунте 25 % отхода стало меньше), однако в повторности с 50 % отхода сохранилась 100 %-ная гибель проростков. В опыте, где после изготовления водной вытяжки супернатант был отброшен, а отход внесен в грунт, показатели токсичности резко снизились. В повторности с 50 % отхода, где во всех других опытах проростки погибали полностью, наблюдалось лишь незначительное торможение роста, а в повторности с 10 % отхода вообще не удалось обнаружить достоверно значимого угнетения развития проростков. Образец из пещеры Бареншакт возрастом 13 лет оказался токсичным после длительной экспозиции в пещере, значения его показателей токсичности оказались сопоставимыми со свежим образцом.

Таблица 6

Вегетационный опыт с влиянием отработки карбида кальция на развитие проростков овса

Содержание отработки карбида в почвогрунте	Торможение развития на 11-й день (% от контрольного показателя)	Никитская каменоломня			Образец из пещеры Бареншакт (Barenschacht)
		Исходный карбид	Исходный карбид	Исходный карбид после приготовления водной вытяжки	
Образец		1а	1б	1в	5а
Возраст		0	1 месяц	1 месяц	13 лет
0 % контроль	Высота	0	0	0	0
	Количество	0	0	0	0
10 %	Высота	40	10	0	30
	Количество	45	10	0	40
25 %	Высота	85	40	10	70
	Количество	90	50	85	70
50 %	Высота	100	100	25	100
	Количество	100	100	95	100

В условиях Никитской каменоломни изучалось воздействие отхода карбида кальция на количество гетеротрофных микроорганизмов. Результаты определения общего микробного числа представлены в табл. 7.

Полученные данные свидетельствуют, что под навалом отхода происходит некоторое угнетение пула гетеротрофных бактерий, однако этот процесс проявляется слабо. Более существенное угнетение микробного населения имеет место под навалом свежего отхода, однако со временем токсический эффект отхода практически исчезает. Эти данные полностью соответствуют данным Лавои [13], за исключением оценок временного периода. По нашим данным, для стабилизации численности бактерий в грунте под навалом отхода требуются не дни, а недели или, вероятнее, месяцы.

Таблица 7

Количество микроорганизмов, выделенных на мясоептонном агаре (МПА)

Точки отбора проб в Никитской каменоломне	Возраст	Число колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 грамм сухого грунта		
		До размещения отхода	Под навалом отхода	В 1 м от навала отхода
Зал Амфитеатр	1–2 года	нет данных	$1,2 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$
С прохода	3–4 года	нет данных	$1,0 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$
Исходный карбид	1 месяц	$1,3 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^5$

В связи с высокой токсичностью отходов отработки карбида кальция серьезной проблемой представляется поиск оптимальных решений по утилизации отхода.

Разумеется, наиболее предпочтительный путь исключения вредного воздействия отхода – в полном отказе от использования спелеологами карбида кальция, который имеет несколько неблагоприятных экологических аспектов: выбросы токсичных газообразных примесей в продуктах горения (в первую очередь водородистый фосфор), сильное изменение температурного режима в некоторых пещерах, токсическое действие отработки карбида на биоту пещеры и ухудшение санитарных показателей подземных вод. Многие общественные рекомендации призывают спелеологов к использованию электрических осветителей вместо использования ацетилена (например, декларация по охране пещер New Zealand Speleological Society – [16]).

Лавои [13] рекомендовала размещение отхода в мокрых глинах для скорейшей нейтрализации гидроокислов и полагала неудачным решением размещение отхода в сухих местах, где он долгое время мог бы сохранять исходные свойства. Мы пришли к нескольким иным выводам на основании данных о том, что отход, расположенный навалом в комках без измельчения и перемешивания, годами сохраняет высокий уровень pH и токсичные свойства. С этой точки зрения, важнейшим требованием по обращению с отходом карбида кальция является исключение его распространения в пространстве и водной среде.

В свете вышеизложенного мы можем рекомендовать в качестве способа захоронения отхода сооружение хранилищ с изоляцией от действия воды и с низким риском быть размытыми текущими водами. Способом полной утилизации отхода может считаться использование отработки карбида кальция в составе строительных смесей (например в смеси с цементом), которые после отвердевания прочно связывают токсичные компоненты и изолируют их от размывания.

### **Выводы**

1. Отход отработки карбида кальция оказывает токсическое действие на окружающую среду, в частности среду экосистем пещер, и соответствует III классу опасности в соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к определенному классу опасности» [5].

2. В составе выявленных компонентов, оказывающих токсическое действие на компоненты окружающей среды, необходимо отметить гидроксид кальция, стронций и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

3. Токсичность отхода несколько снижается со временем в связи с постепенной фиксацией гидроксидом кальция углекислоты воздуха и переходом комков отхода в малорастворимый карбонат, однако процесс этот очень медленный и через 13 лет III класс опасности образцов сохраняется.

4. Крайне нецелесообразно утилизировать отходы отработки карбида кальция в водной среде. Оптимальный способ сохранения пещерных экосистем в естественном состоянии – отказ от применения карбида кальция. Для временного хранения или захоронения отходов отработки карбида кальция могут быть использованы специально обустроенные хранилища, исключающие перенос компонентов отхода в водной среде. Утилизация отхода возможна в составе строительных смесей, нерастворимых в воде после отвердевания.

### **Благодарности**

Авторы выражают глубокую признательность Татьяне Шабаровой и Олегу Моренкову за предоставление образцов из пещеры в Швейцарии, Сергею Гусакову за консультации по Никитской каменоломне, Юрию Евдокимову за изготовление образца свежего отхода, Светлане Андреевой за предоставленные образцы из пещеры Снежная, Зухре Гайнуллиной и Анастасии Горленко за консультации по обращению с отходами производства и потребления.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агабян М.М. О бактерицидных свойствах остатков карбида // Труды Ереванского зоологического института. Т. 19. 1955. С. 5–12.

2. Вавилова В.М., Терехова В.А. Условия отбора и подготовки проб для некоторых методов биотестирования вод, почв и отходов. М., 2009.
3. ГН 2.1.7.2041–06. Гигиенические нормы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. 2006.
4. ГОСТ 10444.15–94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно–анаэробных микроорганизмов. 1994.
5. Критерии отнесения опасных отходов к определенному классу опасности. Утв. Приказом МПР РФ № 511 от 15 июня 2001 г.
6. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: Акварос, 2007. 51 с.
7. МР 2609–82. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. Утв. зам. главного государственного санитарного врача СССР В.Е.Ковшило, 5 августа 1982 г.
8. МУ 1446–76. Методические указания по санитарному микробиологическому исследованию почвы. 1976.
9. ПНД Ф 14.1:2.4.170–2000. Методика количественного химического анализа питьевых, хозяйственно–бытовых и поверхностных вод на содержание фенола методом жидкостной хроматографии. 2005.
10. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИЯ, НИА–Природа, 2002.
11. ТУ 6–01–1347–87. Карбид кальция специальный. 1987.
12. ФР.1.39.2006.02506. ПНД Ф Т 14.1:2.3.13–06 (ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.10–06). Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg (ф-т почвоведения МГУ). 2006.
13. ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. (ООО «Акварос»). 2007.
14. Lavoie K.H. Toxicity of carbide waste to heterotrophic microorganisms in caves. *Microbial Ecology*. Springer. 1980. Vol. 6. № 2. P. 173–179.
15. Peck S.B. Spent carbide – a poison to cave fauna // *NSS Bulletin*. 1969. 31(2). P. 53–54.
16. <http://caves.org.nz/pmwiki/pmwiki.php/CCGExample/EthicalGuidelines>

**ТАТЬЯНА ИВАНОВНА УСТИНОВА**  
**(1912–2009)**

---

**TATJANA IVANOVNA USTINOVA**  
**(1912–2009)**

В 2009 г., на 97-ом году жизни скончалась старейший русский географ, карстовед Татьяна Устинова. Она прошла сложную жизнь. Сперва это был географический факультет Харьковского университета, затем работа в Кроноцком заповеднике на Камчатке. Здесь в апрельский день 1942 г. она сделала удивительное открытие: совместно с проводником-итальянцем Анисифором Крупениным они обследовали заповедник и решили передохнуть на горном склоне. И вдруг – шипение и грохот!

Из соседней проталины ударила струя горячей воды, едва не ошпарившая ученую. Этот первый из двух десятков гейзеров Камчатки получил имя Первенец, а вся долина – с «легкой руки» Устиновой – название долины гейзеров.

В 1955 г. Т.И. Устинова опубликовала работу «Камчатские гейзеры», а в 1984 г. появилась заметка Г.С. Штейнберга и др., в которой она была отмечена как их первооткрывательница.

В 50-е гг. Т.И. Устинова переехала в Крым, где занялась изучением карста. Появились ее заметки об исследованиях карста Степного и Восточного Крыма (массив Караби), методике изучения процессов конденсации, совместная с Б.Н. Ивановым статья об истории исследования карста Крыма. В эти годы мне посчастливилось работать с Татьяной Ивановной в одном отделе Института Минеральных ресурсов (Симферополь). Мне навсегда запомнился ее критичный ум, четкий подход к изучению карста, не только как к географическому, как считалось тогда, но и как к геологическому процессу.

К сожалению, в Крыму она проработала недолго. Его переподчинение Украине привело к перестройке ИМРа и передаче его в ведение АН УССР. Устинова и ее супруг-орнитолог переехали в Молдавию (Кишинев), она была вынуждена третий раз менять научную ориентацию (вместо гейзеров и карста заняться оползнями). Быстро ушел из жизни ее муж, вышла замуж и уехала в Канаду дочь, куда через несколько лет переехала и сама Устинова.

Я переписывался с ней все эти годы, с завистью следил за ее мобильностью:

в 60 лет она прислала мне фотографии вулкана Килауэа (Гавайские о-ва);

в 70 лет – совершила свой прощальный визит на Камчатку, в долину гейзеров, куда ее пригласило руководство заповедника;

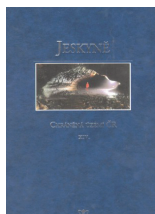
в 80 лет в последнем письме она писала мне с прежним юмором: «...приближается XXI век, но я надеюсь в нем долго не задержаться...»

К сожалению, она не ошиблась.

Крым помнит Устинову: в связи с ее 80-летием одна из пещер Караби, где она изучала конденсацию, решением Карстовой комиссии Крымской академии наук названа ее именем.

*В.Н. Дублянский*





**Jeskyně Chranena uzemi CK, Svazek XIV** / eds. Hromas J., Praha, 2009. 608 p.

**Пещеры // Т. 14. Особо охраняемые природные территории Чехии, под редакцией Дж. Хромаса, Агентство по охране природы и ландшафта и эко-центра в Брно. Прага, 2009. 608 с.** Настоящая книга вышла под редакцией известного чешского спелеолога Дж. Хромаса, который собрал большой авторский коллектив из 46 любителей пещер, натуралистов и профессиональных спелеологов. Разделы книги посвящены общим вопросам карста, далее следует описание карстовых районов Чехии с описаниями пещер различного генезиса, которые зарегистрированы в кадастре Чехии. Всего описано 3988 пещер, 1622 из которых являются псевдокарстовыми. Далее описаны достопримечательности и научные исследования, проведенные в пещерах. Представлен список охраняемых районов, где есть пещеры. В конце книги находятся законодательные документы Чехии, касающиеся поиска, исследования и документации пещер, представлен список организаций, занимающихся научными исследованиями, документация по использованию пещер, список авторов текстовой части, фотографий, рисунков, планов и картографического материала. Библиография книги состоит из 1473 названий. Эта работа обобщает многочисленные сведения о пещерах Чехии. Она содержит большое количество информации, собранной не одним поколением спелеологов. Благодаря чешским и словацким спелеологам книга будет доступна для российских исследователей в музее карста и спелеологии Горного института УрО РАН, г. Кунгур.

*П. Голубек*



**Рюмин Александр Владимирович. История открытия палеолитической живописи пещеры Шульган-Таш (Каповой) в рукописях и документах / Сост. О.Я. Червяцова. Уфа: Информреклама, 2009. 180 с.** Книга освещает малоизвестные стороны истории открытия наскальной палеолитической живописи в пещере Шульган-Таш. Автором, полвека назад первым увидевшим среди вечного мрака подземелья древние фрески, был Александр Владимирович Рюмин – человек яркой и необычной судьбы. Выпускник МГУ, зоолог, охотовед, кандидат биологических наук,

он был нетрадиционно мыслящим исследователем и педагогом, боевым офицером и изобретателем, настоящим патриотом страны.

В 1958 г. А.В. Рюмин поступает на должность старшего научного сотрудника в Башкирский государственный заповедник. Основная цель его прибытия из Москвы в Башкортостан – поиск доказательств собственной теории о существовании Южно-Уральского очага развития первобытной культуры. Эта теория была сформирована им еще задолго до появления в заповеднике: проведя палеогеографический анализ, Рюмин выявил наличие на данной территории всех необходимых условий для появления палеолитической культуры. Более 50 лет назад, зимой 1959 г., Александр Владимирович, обследуя пещеру Шульган-Таш, обнаруживает следы настенной живописи времен древнекаменного века. Судьба распорядилась так, что вскоре после открытия А.В.Рюмин был отстранен от дальнейших исследований пещеры, а собранный им материал по большей части остался неопубликованным. Исследователь ушел из жизни 7 апреля 2006 года, в возрасте 92 лет.

В основу книги легли неопубликованные рукописи Рюмина по пещере и ее рисункам в авторской редакции. Материалы проиллюстрированы схемами и фотографиями, сделанными Александром Владимировичем. В книге переизданы

также его малочисленные печатные работы, посвященные открытию рисунков. Чтобы передать современному читателю дух того времени, представлено и несколько статей центральной прессы, высмеивающих работу Рюмина.

В разделе «Материалы общественных комиссий» впервые публикуются документы, связанные с общественным расследованием «Дела Рюмина» – конфликтной ситуации между ним и его оппонентами – представителями Института археологии АН СССР, многократно пытавшимися создать исследователю имидж легкомысленного дилетанта и отстранить его от дальнейших работ в пещере.

Биографический раздел был подготовлен уфимским журналистом Р.Г. Красновой, вдовой Александра Владимировича Л.М. Перегуда и М.Н. Косаревым. Раздел «Современный взгляд» содержит комментарии к тексту А.В. Рюмина геолога Ю.С. Ляхницкого и археолога В.С. Котова. В разделе «Приложения» представлены факсимильные копии официальных документов, переписка, уникальные цветные фотоснимки, сделанные Александром Владимировичем в заповеднике. Приведен современный план пещеры и фотографии работы научных экспедиций разных лет.

*Б.Р. Мавлюдов*



**Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л.н.) / отв. ред. А.К. Маркова, Т. ван Кольфсхотен. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 556 с.** В книге приведены реконструкции териокомплексов, растительных сообществ и экосистем Европы в переходный период от плейстоцена к голоцену. Реконструкции выполнены на основе обширных палеобиологических сведений, сконцентрированных в электронные базы данных, с применением математических методов. Книга проиллюстрирована

многочисленными картами ареалов млекопитающих и растений, а также экосистем Европы для ряда последовательных временных интервалов рассматриваемого периода. Данная работа проводилась коллективом голландских и российских ученых для территории Европы впервые. В работе были использованы данные по местонахождениям млекопитающих в пещерах Урала. Была предпринята попытка рассмотреть эволюцию комплексов млекопитающих, растительных сообществ, этапов расселения человечества, динамику видового богатства млекопитающих и экосистем последовательно, на примере пяти хронологических интервалов. Эти временные интервалы отражают наиболее заметные изменения климата на протяжении 24–8 тыс. л.н. и включают этапы как наиболее сурового климата, так и потеплений разного ранга и стадийных похолоданий. Полученные реконструкции палеосреды в различные климатические этапы могут быть использованы как модели изменений биоты Европы при возможных климатических изменениях в будущем.

*О.И. Кадебская*



**Гуськов А.А. Атлас пещерных городов Крыма. Путешествие к строителям и обитателям пещер. 2-е изд., перераб. – Харьков: Курсор, 2008. 198 с.** В книге представлена информация о рукотворных пещерах пещерных городов – Бакла, Тепе-Кермен, Качи-Кальон, Эски-Кермен, Мангуп-Кале и Чуфут-Кале. Приводится полное системное описание искусственных пещер, включающее схемы внутрискальных и основных наземных сооружений, анализируются технологии их создания и эксплуатации. Книга иллюстрирована

большим количеством фотографий (около 500).

*О.И. Кадебская*

**Фадеева Т.В., Смирнов Н.Г. Мелкие млекопитающие Пермского Предуралья в позднем плейстоцене и голоцене. Екатеринбург: Голицкий, 2008. 172 с.** Книга посвящена описанию зоогенных отложений карстовых полостей Вишерского (пещера Дыроватый Камень), Александровско-Губахинского (пещеры Верхнегубахинская, Тайн, Долгого Камня-1, Долгого Камня-3, Большая Махневская, Махневская Ледяная, Махневская-2, грот Расик, камни Козий, Лазаревский, Горелый), Чусовского (гроты Большой Глухой, Шайтанский) участков Пермского Предуралья, в которых обнаружен массовый остеологический материал, включающий более 160 тыс. щечных зубов мелких млекопитающих отрядов Rodentia, Insectivora, Lagomorpha, Chiroptera.

Для данной территории это первая работа, обобщающая изученные материалы по мелким млекопитающим позднего плейстоцена и голоцена. В исторический обзор включены данные по местонахождениям, содержащим кости мелких млекопитающих, и более древним комплексам – эоплейстоценовым и раннеплейстоценовым. Даны подробные характеристики местонахождений костных остатков, выделены особенности накопления остеологического материала в карстовых полостях в результате жизнедеятельности разных хищников. Все описанные в работе зоогенные отложения разделены авторами на три типа: отложения подкальных площадок, входовых гротов и дальних (глубинных) гротов – накопление костных остатков в каждом из них имеет своеобразные особенности, которые учитывались при анализе динамики состава фауны и структуры населения мелких млекопитающих.

В книге приводятся морфологические характеристики щечных зубов некоторых видов грызунов, которые позволяют судить об особенностях их размерных показателей и соотношении морфотипических характеристик во времени. Данные этих исследований позволили уточнить и некоторые тафономические выводы для наиболее сложных в изучении отложений, образованных в результате деятельности четвероногих хищников.

Этапы развития сообществ мелких млекопитающих включают временной промежуток от предположительно среднего валдая (для таких фаун получены запределительные радиоуглеродные датировки – >38 400 лет) до современности. Отмечено, что в Пермском Предуралье в позднем плейстоцене и голоцене существовали два зональных типа фауны – гипербореальный, с сочетанием тундровых и степных видов, и таежный.

Для определения группировок видов мелких млекопитающих со сходным изменением процентной доли в выборках во временной период использован один из методов факторного анализа – метод главных компонент.

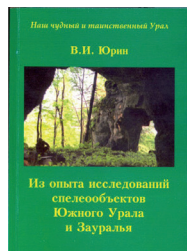
Основная цель данной работы – установление закономерностей динамики состава териофаун и структуры населения мелких млекопитающих Пермского Предуралья в позднем плейстоцене и голоцене. Однако решить поставленные задачи, несмотря на очень многочисленный материал, авторам удалось далеко не полностью, и эта книга является лишь основой для дальнейших исследований по данной тематике.

*Н.Г. Максимович*

**Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. 220 с.** В сборнике представлены работы участников всероссийской научно-практической конференции, состоявшейся 27–28 октября 2009 г. в городе Уфе. Всего содержится 23 статьи. Основная часть работ посвящена вопросам оценки, охраны и использования в экскурсионно-рекреационных целях геологических памятников природы Урала и Приуралья. Авторы ряда статей рассматривают влияние рекреационной нагрузки на биогеоценозы горно-лесной зоны Южного Урала, вопросы стратегии организации эколого-просветительской деятельности на ООПТ и проблемы изучения археологических памятников. Пещерам, поверхностным карстовым формам и искусственным горным выработкам посвящено 11 статей.

Ю.В. Соколов в своей статье приводит краткие статистические данные по количеству, морфологии, протяженности, карстово-спелеологическому районированию и степени изученности пещер Башкортостана. Дан список объектов, постоянно использующихся как объекты туризма; рассмотрены факторы, влияющие на посещаемость спелеообъектов, показаны актуальные задачи развития спелеотуризма в регионе. В статье О.Я. Червяцовой и Ю.С. Ляхницкого рассматривается 12 пещер и горных выработок на территории России, использующихся для регламентированной экскурсионно-туристической деятельности. Кратко описаны методы инженерного обустройства, проблемы техногенной и антропогенной трансформации естественных геосистем пещер при их использовании в качестве объектов туризма. С.Е. Мазина рассматривает основные (морфологические, геологические, экологические) критерии оценки возможности использования карстовых пещер в качестве туристических объектов. Статья А.А. Гунько посвящена заброшенным горным выработкам Урала и Приуралья – проблемам их охраны и рекреационного потенциала. Приводятся данные по территориальному распространению сырьевому назначению этих объектов. К.О. Худеньких с соавторами описывает структуру и особенности мониторинговых сетей Кунгурской пещеры. Проблемам мониторинга состояния подземной среды также посвящена статья Е.В. Шавриной. Автором рассмотрены результаты многолетних (12–25 лет) наблюдений над геодинамическими процессами, климатическим и гидрологическим режимами пещер Пинежского заповедника (Архангельская область). В сообщении Л.Ю. Кузьминой и О.Я. Червяцовой приводятся предварительные результаты микологического изучения очагов биоповреждения карбонатных субстратов, представляющих одну из главных угроз сохранению древнейшей живописи пещеры Шульган-Таш. Д.О. Гимранов публикует результаты изучения костных остатков голоценового возраста из Аскинской Ледяной пещеры (Башкирия). Статья А.К. Солодейникова посвящена методике графической документации наскальной живописи. В.С. Житенев рассматривает современное состояние культурных слоев пещеры Шульган-Таш и делает акцент на правовых аспектах исследования и эксплуатации данного памятника. В сообщении О.Я. Червяцовой и Д.М. Байзитова представлено морфологическое и морфометрическое описание карстовых озер Ыгышма и Ыылкасыккан (Башкирия).

*О.Я. Червяцова*



**Юрин В.И. Из опыта исследований спелеообъектов Южного Урала и Зауралья: сб. науч. статей. Челябинск: Цицеро, 2010. 420 с.** Статьи автора охватывают 15-летний период исследований, за который проведено 274 экспедиции и разведывательных похода на территории 26 административных районов Челябинской области и ряда сопредельных областей.

В сборнике отражено все разнообразие исследований автора: пещерные города, карстовые мосты и арки, история изучения пещер, проблемы спелеостологии, старообрядческие скиты, экологические проблемы охраны и использования пещер и подземных полостей, методика их первичных и палеонтологических обследований, мегалитические сооружения, очерки об известных спелеологах-краеведах и др.

В статьях В.И. Юрина тесно переплелись многие из перечисленных направлений. В сборнике исследования приводятся по годам. Это дает возможность проследить динамику развития ряда тенденций на Южном Урале, рассматриваемых автором.

В.И. Юрина по праву можно назвать пионером в области спелеоархеологии, поскольку впервые в нашем крае он начал сплошное спелеоархеологическое обследование, поиск и массовое вскрытие погребенных подземных полостей, соединение отдельных, близко расположенных пещер. Впервые дал определение терминам пещерные комплексы (ПК) и археологические пещерные комплексы (АПК).

Впервые в России изучил и описал глубоко залегающие материалы эпохи неолита. Многогранный анализ современных проблем, изложенный автором в статьях представляемого сборника, позволяет получить комплексное представление о путях развития спелеологии, спелеостологии, спелеотуризма и краеведения в нашем крае.

В представленном сборнике в доступной форме излагаются важнейшие аспекты их развития. В нем удачно сконцентрированы личный опыт и опыт предшествующих исследователей, авторские обобщения, которые позволяют читателю выявить позитивные решения исследуемых проблем.

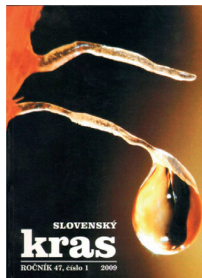
Материалы сборника статей, синтезирующие отечественный и личный опыт автора и отражающие тенденции развития современного направления спелеологии – археоспелеологии, позволяют отнести данное издание к категории монографии. Этот сборник статей, безусловно, будет полезен как узкому кругу специалистов-спелеологов, так и широкому кругу читателей интересующихся своим краем: краеведам, туристам, учителям истории и географии.

*Н.С. Рассказова, Т.И. Тарантина*

## **СВЕДЕНИЯ О ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЯХ ПО СПЕЛЕОЛОГИИ И КАРСТУ**

### **THE INFORMATION ABOUT SPELEOLOGICAL AND KARSTIC PERIODICALS**

#### **ЖУРНАЛ «СЛОВАЦКИЙ КАРСТ»**



В 1958 г. музей словацкого карста и пещер в г. Липтовский Микулаш начал выпускать сборник «Словацкий карст». Главным редактором был директор музея, известный спелеолог Войтех Веничку. В редакционную коллегию входили спелеологи, которые занимались археологией, географией, климатологией, энтомологией, гидрогеологией, геологией и практической спелеологией. Тираж первого сборника был 1100 экземпляров. В начале сборник выпускался 1 раз в два года, статьи принимались без рецензий, в 1978 г. правила приема статей стали более жесткими, в конце статьи стали помещать рецензию на работу автора.

В 1988–1990 гг. сборник выпускало Словацкое спелеологическое общество г. Липтовский Микулаш, с 1991 г. снова Словацкий музей охраны природы и спелеологии в г. Липтовский Микулаш. С 2002 г. сборник финансирует и выпускает две организации – музей и Управление словацких пещер, которое также имеет дирекцию в г. Липтовский Микулаш. С 2008 г. выпускается 2 номера в год, а в 2009 г. сборник получил статус журнала. В 2010 г. также планируется выпустить 2 номера (48/1 и 48/2) тиражом 600 экземпляров. В 2008–2009 гг. выпускались дополнительные тематические номера о комплексной разведке Брестовской пещеры в Западных Татрах и пещерных медведях. Сейчас в редакционную коллегию журнала входят 15 специалистов по спелеологии, истории, энтомологии, археологии, геологии, географии из четырех стран (Словения, Польша, Чехия и Словакия). Библиотека Словацкого музея охраны природы и спелеологии обменивается журналом с 32 странами мира, что позволяет пополнять словацкую спелеологическую библиотеку. С первого номера до 39-го содержание книги дублировалось на русском, немецком, английском и французском языках, с 39-го номера содержание стали дублировать только на английском языке. Сейчас, кроме содержания на английском языке приводится краткая аннотация статьи. Статьи, которые представлены в сборнике на английском языке, имеют краткую аннотацию на словацком. В журнале «Словацкий карст» представлена информация о спелеологии, археологии, гидрологии, геологии,



палеонтологии и зоологии из карстовых районов всего мира. Автором статьи о Советских Карпатах и нескольких статей о карстовых районах Кавказа был известный спелеолог В.Н. Дублянский.

*О.И. Кадебская*

## **СБОРНИКИ НАУЧНЫХ ТРУДОВ ЗАПОВЕДНИКА «ШУЛЬГАН-ТАШ»**

**Сборники научных трудов заповедника «Шульган-Таш»** периодически издаются начиная с 1999 г. Большая часть материалов посвящена изучению биоразнообразия особо охраняемых природных территорий Южного Урала: в особенности результатам геоботанических и энтомологических (бурзянская популяция среднерусской пчелы) исследований. Тем не менее некоторые статьи были посвящены карстологическим объектам (в основном пещере Шульган-Таш):

**Изучение природы в заповедниках Башкортостана, Миасс: Геотур, 1999. 254 с.** В статье Ю.С. Ляхниченко «Геологические особенности Каповой пещеры и закономерности ее формирования» приводятся результаты дешифровки космических и аэрофотоснимков, подтверждающих сложную блоковую структуру района пещеры Шульган-Таш. Выделены основные системы трещин, инициировавших заложение карстовой полости. В статье «Радиозкологические исследования Каповой пещеры» Ю.С. Ляхницкий с соавторами приводит данные радиометрического изучения пещеры по 102 точкам, а также результаты изучения сезонной динамики концентраций радона. Тем же автором совместно с М.А. Чуйко опубликована статья «Гидрогеологические и гидрохимические особенности района пещеры Шульган-Таш», где впервые представлена оценка элементов водного баланса р. Шульган и охарактеризован химический состав карстовых вод района. С.А. Ткачев публикует результаты спелеологического исследования пещеры Ожигановской, которая представляет собой начало подземной части гидросистемы реки Шульган.

**Изучение заповедной природы Южного Урала. Уфа: Изд. дом «Вилли Окслер», 2006. 456 с.** Издание содержит раздел «Исследования Каповой пещеры», который открывает статья Ш.Р. Абдуллина и М.Ю. Шариповой о цианобактериях и водорослях пещеры Шульган-Таш. Проведен таксономический анализ, представлен список из 153 обнаруженных в пещере видов. Ю.С. Ляхницкий публикует обширную статью, посвященную результатам многолетних исследований пещеры группой ВСЕГЕИ и РГО. Приводятся результаты геоморфологических, геохронологических, гидрогеохимических и других исследований, даны рекомендации по применению полученного материала при разработке проектов консервации рисунков. Этот же автор совместно с А.А. Юшко представляют статью, посвященную графической документации палеолитической живописи. Приводится статистика по пространственному и сюжетному распределению рисунков в пещере. Е.С. Чертопруд с соавторами публикуют результаты исследования зообентоса р. Шульган на участках ее поверхностного и подземного стока.

**Биологическое разнообразие, спелеологические объекты и историко-культурное наследие охраняемых природных территорий Республики Башкортостан: сборник науч. тр. Уфа: Информреклама, 2008. 404 с.** Э.З. Гареев приводит описание геологических памятников природы в районе заповедника «Шульган-Таш»; в частности пещер Ожигановской, Космонавтов, Грез, Якшингуловская 2, Пропащая Яма, Сказка, Байсланташ, Муйнак-Таш. Ю.В. Соколов публикует статью по пещерам Башкортостана с многолетними ледяными образованиями. Рассматривается история их изучения, геоморфологические закономерности распределения, карстово-спелеологическое районирование. Приводится список из 49 ледяных пещер региона с указанием объемов и морфологии ледяных отложений. О.Я. Червяцова и Е.В. Трофимова приводят результаты полевых исследований микроклимата и гидрологии некоторых пещер природного парка «Мурадымовское ущелье» (Республика Башкортостан). В статье также поднимаются опросы о рекреационном использовании

пещер парка с учетом их природных особенностей. Статья В.Г. Котова раскрывает малоизвестную страницу культового отношения предков башкир к пещере Шульган-Таш, выражающуюся в сложении наследственного института «хранителей» пещеры. Ю.С. Ляхницкий с соавторами публикуют статью о результатах документации палеолитической живописи. Статья богато иллюстрирована photographиями, содержит детализированные планы залов пещеры, содержащих живопись. А.В. Шаповалов рассматривает возможность использования первобытного анималистического искусства как вспомогательного источника палеонтологической информации. С.Б. Рындин представляет исторический обзор по различным гипотезам интерпретации палеолитической живописи, показывающий, как эволюционировало представление о мотивах древних художников с IX века по наши дни. О.Я. Червяцова с соавторами представляют статью по истории и современным проблемам экскурсионного и рекреационного использования пещеры Шульган-Таш (Каповой). Г.Г. Хамидуллина и М.Н. Косарев рассматривают вопрос о значении Музейно-экскурсионного комплекса заповедника «Шульган-Таш» (включающего в себя ближнюю часть пещеры) и приводят данные по динамике и составу посетителей за 2000–2007 гг.

*О.Я. Червяцова*

## ХРОНИКА

### THE CHRONICLE

#### ОСОБЕННОЕ НАГРАЖДЕНИЕ СЛОВАЦКОГО СПЕЛЕОЛОГА



В начале апреля в 2010 г. Словакию посетил Президент России Д.А. Медведев. Одной из целей его визита было вручение ордена Дружбы трем ветеранам Второй мировой войны. В их числе был 90-летний спелеолог, почетный член словацкого спелеологического общества Антон Дроппа. Российский Президент вручил ему орден за активное участие в боях во время Великой Отечественной войны.

После обучения в училище летчиков словацкой фашистской армии, он 31 августа 1944 г. в городе Львове перешел на другую сторону фронта и записался в 1-й чехословацкий армейский корпус СССР. Советское командование назначило его командиром авиационного звена в 1-й Чехословацкой смешанной авиационной дивизии в составе 8-й воздушной армии (полковник Л. Будин). На своем боевом самолете Ла-5 он активно участвовал в Моравско-Оставской операции.

Моравско-Оставская наступательная операция проводилась с 10 марта по 5 мая 1945 г. войсками 4-го Украинского фронта. В Оставе и расположенных близ нее городах работали десятки предприятий металлургической, химической, машиностроительной, нефтеперегонной промышленности, которые производили большое количество вооружения и военной продукции. В районе располагались богатые месторождения угля и железной руды. Удержанию этого района немецкое командование придавало большое значение.



Рис. 1. Антон Дроппа и его самолет, 1944 г.

Спелеолог А. Дроппа родился **30 июня 1920 г.** в селе Lazisko в предгорьях Низких Татр. С пещерами он связан с детских лет. Мальчиком с друзьями посещал со свечами Демяновскую Ледяную пещеру, которая находится в трех километрах от его родного села. После гимназии Антон поступил на военную службу, выучившись на летчика.

После окончания войны его перевели в авиационную школу в г. Olomouc, где он обучал молодых летчиков. В 1948 г. его уволили против его воли с формулировкой: «Не нашел положительного отношения к новому народно-демократическому порядку». Уйдя на стройку простым рабочим, по вечерам Антон изучал в университете г. Olomouc географию и историю. Из политических соображений ему не позволили преподавать в школе, но его учитель профессор F. Vitaskek нашел ему место в университете в городе Брно.

Дроппа работал как служащий словацкого спелеологического общества, потом в музее словацкого карста и в географическом институте Словацкой академии наук. А. Дроппа разведет 412 пещер в Словакии общей длиной более 55 км. Его работы опубликованы в 11 книгах и почти в 200 научных статьях. Его всемирно известная работа среди спелеологов посвящена 9 горизонтам пещерной системы в Демяновской долине. Он активно выступал на международных конгрессах в Словении (1965), Германии (1969), Чехословакии (1973) и США (1981).

Во время командировок в другие страны познакомился с известными спелеологами: в 1957 г. в Югославии познакомился с проф. др. I. Gams, проф. др. Fr. Habe, проф. др. R. Savnik; в 1958 г. в Польше с др. J. F. Rabek, проф. др. J. Glazek, проф. др. M. Pulina и S. Zwolinski; в 1962 г. в Болгарии с проф. др. V. Popov, проф. др. P. Penčev, акад. J. Galabov; в 1965 г. в Восточной Германии с F. Schuster; в 1966 г. в Западной Германии с проф. др. W Kuls; в 1966 г. в Румынии с др. D. Coman, др. J. Vietnam и др. J. Serban; в 1966 г. в Италии с др. C. Finocchiaro, проф. др. Fr. Anelli; в 1968 в Австрии с проф. др. H. Trimmel, с проф. др. W Krieg, G. Abel; в 1970 г. в Венгрии с др. G. Denes, др. H. Kessler; в 1975 г. во Франции с др. A. Audetat, с проф. C. Chabert; в 1975 г. в Швейцарии с проф. др. A. Boegli; в 1981 в США с проф. R.H. Gurnee, проф. A.N. Palmer.

Россию (Ленинград) посетил только лишь как турист, но в течение жизни работал также с русскими спелеологами: в 1958 г. сопровождал Г.А. Максимовича по карстовым районам Словакии.



Рис. 2. Президент России Д. Медведев, спелеолог А. Дроппа и президент Словакии И. Гаспарович

В 1964 г. в сборнике «Пещеры», вып. 4(5), опубликовал статью о ледяных пещерах Чехословакии. С сыном Г.А Максимовича – Н.Г. Максимовичем встретился в октябре 2010 г. во время конгресса ISCA. В своих работах описывал не только пещеры, но представлял информацию об археологии, истории и геологии. На результатах его работ учится несколько поколений спелеологов и естествоиспытателей, которые занимаются изучением карста и пещер Словакии. Кроме спелеологических, А.Дроппа написал две книги, посвященные истории Великой Отечественной войны, и книгу, посвященную навигации для летчиков.



Рис. 3. А. Дроппа вместе с российскими и словацкими участниками на конгрессе экскурсионных пещер мира

И сегодня, когда ему исполнилось 90 лет, он тоже интересуется спелеологией, свой день рождения он отпраздновал вместе со спелеологами в экскурсионной Малой Станишовской пещере.

*П. Голубек*



## ВИКТОРУ НИКОЛАЕВИЧУ ДУБЛЯНСКОМУ – 80 ЛЕТ!



Известному отечественному спелеологу и карстоведу Виктору Николаевичу Дублянскому 19 мая 2010 г. исполнилось 80 лет.

Совместно с В.В. Илюхиным и Б.Н. Ивановым Виктор Николаевич был организатором спелеологического движения в СССР (1958–1992 гг., Центральная секция при ЦС по туризму). Его силами было организовано около полусотни экспедиций, в которых было исследовано более 1000 пещер и шахт Украины (Крым, Подолия, Карпаты). Во время спелеологической деятельности исследовал карстовые районы СССР (Западный Кавказ, Абхазия, Армения, Пермский край, Средняя Азия), а также побывал в пещерах Болгарии, Венгрии, Польши, Чехословакии, Югославии (до распада государств), Канады, США.



В.Н. Дублянский окончил Одесский госуниверситет в 1954 г. по специальности «Геология». В 1957–1997 гг. работал в Симферополе, в Институте Минеральных ресурсов АН СССР (АН УССР, младший и старший научный сотрудник), госуниверситете (профессор), в 1997–2008 гг. в Пермском госуниверситете (профессор, зав. кафедрой инженерной геологии и охраны недр) и в Горном институте Уро РАН (ведущий научный сотрудник).

В 1960 г. защитил диссертации на соискание ученой степени кандидата (Одесса), а 1972 г. – доктора геолого-минералогических наук (Пермь); в 1964 г. утвержден в звании старшего научного сотрудника по специальности «гидрогеология»; с 1994 г. академик Крымской академии наук.

С 1973 г. Виктор Николаевич – почетный член 6-го Международного спелеологического конгресса (ЧССР), с 1992 г. почетный член Украинской спелеологической Ассоциации; с 1993 г. заслуженный деятель науки и техники Украины, с 2000 г. почетный член Русского географического общества. Лауреат знака «Златен прилеп» (1974, Болгария), премии республики Крым (1994), Пермской области им. Г.А. Максимова (2001 г.).

Виктор Николаевич – автор многочисленных научных статей, монографий и учебников по геологии, гидрологии, гидрогеологии и микроклимату карстовых пещер, их происхождению и географии. После смерти в 1996 г. К.А. Горбуновой с 1999 по 2004 г. был редактором сборника «Пещеры» и подготовил три его выпуска.



Сегодня мы поздравляем Виктора Николаевича от всего сердца с очередным юбилеем и пожелать всех мыслимых благ, здоровья и дальнейших творческих успехов!

*В.Н. Катаев*

### **ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРИРОДНОЕ И КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ ЮЖНОГО УРАЛА КАК ИННОВАЦИОННЫЙ РЕСУРС»**

Конференция состоялась 27–28 октября 2009 г. в городе Уфа на базе Уфимского научного центра РАН и была посвящена 50-летию открытия А.В. Рюминым рисунков эпохи палеолита в пещере Шульган-Таш (Каповой). Основными организаторами мероприятия выступили Институт геологии УНЦ РАН, Министерство молодежной политики, спорта и туризма Республики Башкортостан, Уфимская государственная академия экономики и сервиса, Государственный природный заповедник «Шульган-Таш» и Европейская ассоциация сохранения геологического наследия (ProGEO). В работе конференции приняли участие представители научно-исследовательских учреждений, вузов, общественных организаций и частного туристического бизнеса из 14 городов России.

В работе конференции был сделан акцент на обсуждение вопросов исследования, сохранения и рационального использования пещер, карстовых ландшафтов и искусственных подземных выработок. Были заслушаны доклады по спелеологическим и спелестологическим объектам Урала и Предуралья (Башкирия, Пермский край, Челябинская область), а также Архангельской области (Пинежский государственный заповедник). Ряд сообщений был посвящен результатам многолетних исследований геологических и гидрогеологических особенностей, климатического режима и сообщества микромицетов пещеры Шульган-Таш. Были представлены доклады, освещающие результаты последних археологических и культурологических исследований пещеры (информация об открытии в 2009 г. захоронения раннего железного века и первичные результаты антропологического изучения найденных останков, методология поиска и документации настенной живописи, связь древних башкирских эпосов с пещерой и др.).

В рамках конференции была организована полевая экскурсия в пещеру Шульган-Таш с осмотром оригиналов палеолитической живописи, а также в музейно-экскурсионный комплекс заповедника «Шульган-Таш». По окончании конференции был издан сборник материалов.

*О.Я. Червяцова*

### **4-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО ПЕЩЕРАМ С ЛЕДЯНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ, АВСТРИЯ IWIC-IV (4-RD INTERNATIONAL WORKSHOP ON ICE CAVES)**

В период с 5 по 11 июня 2010 г. в небольшом австрийском городке в Альпах – Оберттрауне (недалеко от Зальцбурга) прошел 4-й международный симпозиум, посвященный исследованию пещер с ледяными образованиями (4th International Workshop on Ice Caves (IWIC-IV)).

Научная часть конференции была разделена по следующим направлениям: метеорология, гляциология, палеоклиматология, социально-экономические и исторические аспекты. Доклады были посвящены изучению влияния внешней атмосферы на микроклиматические обстановки в пещерах со льдом, происходящему изменению температуры в полости за счет вентиляции и гидрологических процессов, которые обеспечивают сложный механизм, управляющий формированием и сохранением льда в пещере. Докладчиков также интересовали физико-химические свойства льда, различные включения в ледяной толще, находки которых обеспечивают

возможность изучения истории развития ледяных образований в пещере; определение объема и оценки баланса массы льда в пещере; изучение льда пещеры для палеоклиматических и палеоэкологических реконструкций; методы датировки, анализ и интерпретация обстановок климата и исследования современных маркеров оледенения.

Секция социально-экономических и исторических аспектов содержала доклады, посвященные популярным туристическим пещерам. Существенные изменения в баланс массы льда этих пещер, например из-за регионального изменения климата, представляют основную проблему для управления этим процессом в экскурсионных пещерах.

Россию представляли три участника, двое из Горного института УрО РАН: Надежда Трушкова (лаборатория аэрологии и теплофизики) и Ольга Кадебская (лаборатория геологии месторождений полезных ископаемых) – с докладами о Кунгурской Ледяной пещере. Третий россиянин – Булат Мавлюдов представил доклад о пещерах Антарктиды (Институт географии РАН, г. Москва).

Все доклады участников симпозиума были выставлены на сайте электронного журнала «Cryosphere» ([www.the-cryosphere.net](http://www.the-cryosphere.net)) и вынесены на восьминедельное интерактивное обсуждение, которые включали комментарии рефери и ответы автора.

Оргкомитет IWIC-IV возглавлял Майкл Бем, институт геодезии и геофизики технического Венского университета. В организации симпозиума участвовали Гельмут Хосмэнн (институт геодезии и геофизики технического Венского университета), Кристоф Шпотл и Марк Летчер (институт геологии и палеонтологии университета Инсбрука), Лукаш План (Отдел наук изучения карста и пещер при Венском музее естественной истории), Штефан Холь, директор Дахштайнской пещеры (Обертраун), Фриц Одль, владелец пещеры Айсризенвелът (Верфен), Вальтер Маги и Стефано Турри, Миланский университет (Италия) и Австрийская спелеологическая ассоциация.

Следующий 5-й симпозиум, посвященный изучению пещер с ледяными образованиями состоится в Милане (Италия) в 2012 г.

*О.И. Кадебская*

## **6-Й КОНГРЕСС ЭКСКУРСИОННЫХ ПЕЩЕР МИРА (СЛОВАКИЯ) 6-TH CONGRESS INTERNATIONAL SHOW CAVES ASSOCIATION (SLOVAKIA)**

В период с 18 по 23 октября 2010 года в Словакии неподалеку от города Липтовский Микулаш, на территории национального парка Низкие Татры был проведен конгресс экскурсионных пещер мира ISCA-2010, организаторами его со стороны Словакии является Джозеф Хлавак, Петер Гажек, Павел Белла, соорганизатором конгресса является ассоциация экскурсионных пещер мира в лице ее президента Девида Саммерса, председателя научно-технического комитета Ариго Сигна и секретариата, который представляет Рената Маринелли. Это мероприятие проводится один раз в четыре года в различных странах мира, где находятся экскурсионные пещеры. На конгрессе присутствовали представители 61 страны со всех континентов. Делегация из России представила три российских экскурсионные пещеры. Кунгурскую Ледяную пещеру (Пермский край) представляли директор туристического комплекса «Сталагмит» С.В. Морозова, экскурсоводы В.В. Рапп Л.С. Михеева, Е.А. Колядич и сотрудники Горного института УрО РАН О.И. Кадебская и Н.А. Трушкова. Ординскую пещеру (Пермский край) представлял заместитель директора естественнонаучного института ПГУ Н.Г. Максимович. Пещеру Шульган-Таш (Башкирия) представила научный сотрудник государственного природного заповедника «Шульган-Таш».

В Чехии предконгрессная экскурсия, организованная правительством чешских пещерпроходила по удивительным районам Моравского карста и карста Западных Карпат, каждая из пещер представляла интерес как для ученых (спелеологов, археологов, историков и др.), так и для обычных туристов. Первой пещерой, которую посетили участники конгресса, была пещера На Турольду (самая большая экскурсионная пещера в известняках юрского периода, длиной 1650 м, длина

экскурсионного маршрута 300 м). Поразила своим убранством пещера Балкарка, богатая разноцветными натечными образованиями. Огромное впечатление произвели на нас Пункевные пещеры, в которой пешую часть экскурсионного маршрута сменяет путешествие на лодках по подземной р. Пункве. В завершении осмотра пещеры мы увидели знаменитый карстовый провал Мацоха. Глубина провала достигает 187 метров. Большой интерес для нас вызвала пещера Выпустек, которая в разные периоды истории активно использовалась, в том числе в военных целях. В последние 10 лет эта пещера также является экскурсионным объектом.

Увлекательные экскурсии первого дня завершил торжественный ужин, открывающий конгресс экскурсионных пещер мира ISCA-2010. В этот вечер участники могли познакомиться друг с другом поближе, обсудить интересующие вопросы и насладиться живой музыкой в исполнении чешских музыкантов.

Утром следующего дня мы отправились за новыми впечатлениями в пещеры Кульна и Збрашовскую Арагонитовую, а вечером прибыли в Словакию в Липтовский Микулаш.

Программа конгресса была очень насыщена, ежедневно в первой половине дня проходили заседания, где всесторонне обсуждались следующие проблемы.

1. Наука и окружающая среда (исследование, контроль и защита пещер, проблемы использования пещер, присутствие радона и углекислого газа в атмосфере, лампенфлора и другие техногенные воздействия).

2. Технологии и развитие инфраструктуры пещер (информационные технологии, спелеотерапия и проблемы освещения пещер).

3. Экономика (маркетинг экскурсионных пещер, экономическое развитие окружающей территории) и образование (обучение гидов, экологическое образование).

Разнообразие рассматриваемых проблем обуславливается тем, что проведенный конгресс представляет интерес во всем мире для ученых, а также для директоров пещер и людей, чья деятельность так или иначе связана с экскурсионными пещерами; все они могут обсудить свои идеи, исследования, а также наладить контакты для реализации в дальнейшем совместных проектов.

В ассоциации экскурсионных пещер существует несколько комитетов, члены одного из которых не являются директорами пещер, а занимаются их исследованиями. Представителем России в научном комитете ассоциации экскурсионных пещер мира была избрана О.И. Кадебская.



Рис. 1. Сертификат о включении Кунгурской Ледяной пещеры в ассоциацию экскурсионных пещер мира

Для участников конгресса было организовано посещение знаменитых экскурсионных пещер Словакии, таких как пещера Свободы в Демяновской долине, Добшинская Ледяная пещера, пещера Домица и Охтинская Арагонитовая пещера, три

последних занесены в список мирового наследия ЮНЕСКО. Все пещеры, в которых побывали участники во время конгресса, очень интересны и не похожи одна на другую. Нашему вниманию были представлены великолепные гуры, арагонитовые образования, а также самый большой по мощности (объем льда 110100 м<sup>3</sup>, максимальная мощность 26,5 м) подземный ледник в мире.

Посетив 14 экскурсионных пещер Европы, уникальных по своей красоте, мы считаем, что Кунгурская Ледяная и Ординская пещеры достойно могут быть представлены на мировом туристском рынке. На конгрессе президент ассоциации экскурсионных пещер Дэвид Саммерс вручил сертификат о том, что Кунгурская Ледяная пещера входит в состав ассоциации экскурсионных пещер мира (рис. 1). Также в ассоциацию включена подводная Ординская пещера, которая в последнее время приобрела широкую известность среди спелеодайверов.

По мнению участников конгресса и президента ассоциации экскурсионных пещер мира Кунгурская Ледяная пещера должна быть включена в список мирового наследия ЮНЕСКО.

*С.В. Морозова, Л.С. Михеева, Н.А. Трушкова*

### **НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ-2010**

С 16 по 20 ноября в г. Набережных Челнах состоялась Международная научно-практическая конференция «Спелеология и спелестология: развитие и взаимодействие наук». В числе организаторов конференции выступили: Институт географии РАН, Русское географическое общество, Украинский институт спелеологии и карстологии, Русское общество спелестологических исследований, Набережночелнинский государственный педагогический институт. Мероприятие состоялось под патронатом Комиссии по карсту и спелеогенезису и Комиссии по искусственным пещерам UIS.

В конференции приняло участие более 60 человек из 26 городов России, а также Болгарии, Словении, Италии, Франции. Было заслушано 54 доклада в трех секциях: «Спелеология», «Спелестология», «Экология. Охрана и использование пещер». В рамках мероприятия работала фотовыставка «Подземные миры: дороги, тайны, открытия» (А.А.Юшко, Санкт-Петербург), был организован показ фильмов спелеологической тематики.

Во второй и четвертый день были проведены научно-полевые экскурсии в Сармановский медный рудник и действующий Камско-Устьинский гипсовый рудник.

К началу конференции был выпущен сборник докладов (348 с.). В сборник вошла 101 статья от 120 авторов из 45 городов (Россия, Украина, Казахстан, Армения, Польша, Болгария, Словения, Франция, Канада, США). Были представлены 73 организации, в числе которых: 21 научно-исследовательский институт, лаборатория и предприятие; 20 вузов; 6 музеев-заповедников; 7 общественных организаций и фондов; 8 спелеоклубов и секций; 6 коммерческих организаций; 2 учреждения среднего и дополнительного образования; 2 религиозные организации; 1 учреждение здравоохранения.

Конференция прошла в исключительно дружеской обстановке и на высоком научном уровне, чему способствовал состав участников. Страница конференции: <http://pro-speleo.ru/index/0-4>

*А.А. Гунько*

## БИБЛИОГРАФИЯ ПО КАРСТУ И ПЕЩЕРАМ 2009 г.

### THE BIBLIOGRAPHY OF KARST AND CAVES FROM 2009

#### КНИГИ

Климчук А. Б. Эпикарст: гидрогеология, морфогенез и эволюция / А. Б. Климчук. – Симферополь: Сонат, 2009. – 112 с.

Пещеры: сб. науч. тр. / гл. ред. Н. Г. Максимович; Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – 234 с. – Вып. 32.

Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – 239 с.

Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеологической живописи Каповой пещеры / под ред. Э. З. Гареева, Н. М. Сайфуллиной. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. – 220 с.

Пронин К. К. Естественные пещеры Причерноморско-Азовской и Молдавско-Подольской карстовых областей / К. К. Пронин. – Симферополь; Одесса: Сонат, 2009. – 130 с.

Рюмин Александр Владимирович. История открытия палеолитической живописи пещеры Шульган-Таш (Каповой) в рукописях и документах. – Уфа: Информреклама, 2009. – 180 с.

Физико-химические характеристики ископаемых костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительно возраста: [в 2 ч.] / С. Л. Вотяков, Д. В. Киселева, Ю. В. Щапова, Н. Г. Смирнов, Н. О. Садыкова; УрО РАН, Ин-т экологии растений и животных, Ин-т геологии и геохимии им. А. Н. Заварницкого. – Екатеринбург, 2009. – Ч. 1: Термический и масс-спектрометрический элементный анализ. – 119 с.

Физико-химические характеристики ископаемых костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительно возраста: [в 2 ч.] / Н. Г. Смирнов, С. Л. Вотяков, Н. О. Садыкова, Д. В. Киселева, Ю. В. Щапова; УрО РАН, Ин-т экологии растений и животных, Ин-т геологии и геохимии им. А. Н. Заварницкого. – Екатеринбург, 2009. – Ч. 2: ИК- и радиоспектроскопия, микроскопия. – 81 с.

#### СТАТЬИ

Абдуллин Ш. Р. История изучения цианобактерий и водорослей пещер / Ш. Р. Абдуллин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 122–126.

Абдуллин Ш. Р. Особенности распределения цианобактерий и водорослей в Аскинской пещере (Республика Башкортостан) / Ш. Р. Абдуллин, А. А. Вохмянина // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований: тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Казань, 2009. – Т. 3. – С. 115–118.

Абдуллин Ш. Р. Проявление гипогенного карста на Южном Урале / Ш. Р. Абдуллин // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 73–75.

Абдуллин Ш. Р. Цианобактерии и водоросли пещер Ледяная и Водораздельная (Красноярский край) / Ш. Р. Абдуллин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 116–121.



Агаджанян Н.А., Дорохов Е.В., Жоголева О.А., Горбатенко Н.П. Адаптогенное влияние спелеотерапии на организм здорового человека // Вестник восстановительной медицины. – 2009. – № 1. – С. 5–8.

Андрейчук В. Пещера Пионерка: условия и специфика криогенного минералообразования / В. Андрейчук, Б. Ридуш, Е. Галускин // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 54–69.

Андрейчук В. Н. Системная природа карстового ландшафта / В. Н. Андрейчук // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 47–59.

Андронов С. Н. Анализ и прогноз распространения палеокарста в отложениях нижней перми на участке бурения скважин 301–303 залежей Куакбашской площади Ромашкинского месторождения / С. Н. Андронов, И. А. Нуриев, Б. М. Курочкин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2009. – № 8. – С. 21–25.

Аникеев А. В. Некоторые вопросы оценки карстового риска / А. В. Аникеев // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Геориск – 2009», Москва, 21 мая 2009. – М., 2009. – Т. 2. – С. 4–9.

Аникеев А. В. Об использовании модели Бирбаумера в инженерном карстоведении / А. В. Аникеев // Сергеевские чтения «Моделирование при решении геоэкологических задач»: материалы годич. сес. Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидроэкологии, Москва, 23–24 марта 2009. – М., 2009. – Вып. 11. – С. 257–262.

Аникеев А. В. Оценка распространения карстовых процессов в пределах Южно-Татарского свода / А. В. Аникеев, П. М. Кондратьев // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 1. – С. 51–59.

Ахмедова Н. С. Морфологические особенности карстовых озер бассейна верхней и средней Волги / Н. С. Ахмедова, С. В. Рянжин // Изв. Рус. геогр. о-ва. – 2009. – Т. 141, № 6. – С. 41–47.

Бакалова М. В. Влияние антропогенных факторов на биоценозы заповедника «Шульган-Таш» в долине реки Белой // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 160–164.

Беднарская Е. В. К фауне хищных простигматических клещей пещер центральной части Горного Крыма // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана. – 2009. – Вып. 19. – С. 178–183.

Бондарь К. М. Запись палеоклиматических изменений голоцена – верхнего плейстоцена в рыхлых отложениях пещеры Эмине-Баир-Хосар по магнитным данным / К. М. Бондарь, Б. Т. Ридуш // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 70–76.

Бондарь К. М. Результаты палеомагнитного исследования разреза глин в пещере Атлантида / К. М. Бондарь, И. В. Виршило // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 36–41.

Бурмак И. Н. Научно-рекреационный природоохранный комплекс «Пещера Караульная» – итоги пятилетней работы / И. Н. Бурмак // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 178–189.

Бурмак И. Н. 50 лет Александру Медведеву – топографу сибирских пещер / И. Н. Бурмак // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 291–295.

Бюрнаева Г. Н. Современные спелеологические технологии освоения

рекреационных ресурсов Астраханского региона / Г. Н. Бюрнаева // Геология, география и глобальная энергия. – 2009. – № 4. – С. 270.

Вахрушев Б. А. О генетическом содержании карстового рельефообразующего процесса / Б. А. Вахрушев // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 30–34.

Вахрушев Б. А. Районирование карста Крымского полуострова / Б. А. Вахрушев // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 39–46.

Вахрушев Б. А. Русскому Карсту Дублянского 80 лет / Б. А. Вахрушев // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 86–87.

Виноградова О.Н., Нево Э., Вассер С.П. Альгофлора пещеры Сефуним (Израиль): видовое разнообразие в условиях мультифакторного абиотического стресса // Альгология. – 2009. – Т. 19. – № 1 – С. 47–50

Виноградова О.Н., Михайлюк Т.И. Альгофлора пещер и гротов национального природного парка «Подольские Товтры» (Украина) // Альгология. – 2009. – Т. 19. – № 2 – С. 155–171

Вистингаузен В. К. К изучению пещер Кемеровской области / В. К. Вистингаузен // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 245–248.

Вистингаузен В. К. Новости спелеологии на Алтае. XXI век / В. К. Вистингаузен // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 278–283.

Вистингаузен В. К. О принципах и формах учета пещер / В. К. Вистингаузен // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 263–264.

Вистингаузен В. К. Пещеры и фольклор / В. К. Вистингаузен // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 295–302.

Влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) / В. Н. Катаев, С. В. Щербаков, Д. Р. Золотарев [и др.] // Вестник Пермского университета. – 2009. – Вып. 11 (37). Геология. – С. 77–93.

Вольхин И. Л. Экскурсионное дело в Кунгурской Ледяной пещере / И. Л. Вольхин, О. А. Вотинова // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 174–177.

Вотяков С. Л. Термические свойства ископаемых костных остатков млекопитающих как основа для оценки их относительного возраста / С. Л. Вотяков, Н. О. Садыкова, Н. Г. Смирнов // Ежегодник – 2008 / РАН, УрО, Ин-т геологии и геохимии; [отв. ред. В. А. Коротаев]. – Екатеринбург, 2009. – С. 290–295. – (Тр. / Ин-т геологии и геохимии УрО РАН. – Вып. 156).

Гаев А. Я. Гидрогеологические особенности развития карстовых процессов в регионах Урала / А. Я. Гаев, Ю. А. Килин, И. И. Минькевич // Вестник Пермского университета. – 2009. – Вып. 11 (37). Геология. – С. 54–65.

Геологические условия и особенности развития карста Новгородской области / А. Г. Мусин, Ш. Ш. Галимов, Р. И. Гайсин, М. Р. Валиев // Актуальные вопросы

географических исследований региона: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 24–25 сент. 2009 г. – Чебоксары, 2009. – С. 200–211.

Геофизические исследования при изучении термокарстовых и суффозионных процессов на железнодорожной линии Беркамит–Томмот / А. А. Сясько, Н. Н. Гриб, С. С. Павлов, А. В. Качаев // 9 Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, 14–17 апр. 2009: докл. – М., 2009. – Т. 3. – С. 63.

Гидрогеологические особенности карста в регионах Урала / А. Я. Гаев, Ю. А. Килин, Ю. В. Михайлов, Т. И. Якшина // Гидрогеология и карстоведение: межвуз. сб. науч. тр. – Пермь; Оренбург, 2009. – Вып. 18. – С. 196–207.

Гимранов Д. О. Пещера Хлебодаровская (Южный Урал) – как естественная ловушка для голоценовых крупных млекопитающих / Д. О. Гимранов // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 71–73.

Голдырева Т. Тайны Бабиногорской пещеры / Т. Голдырева // Грибушинские чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл. и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр. 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 589–590.

Головачев И. В. О факторах активизации карстового рельефа в районе озера Баскунчак / И. В. Головачев // Геология, география и глобальная энергия. – 2009. – № 2. – С. 143–146.

Головачев И. В. Особенности современной динамики карстового рельефа в районе озера Баскунчак / И. В. Головачев // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: тр. Междунар. науч. конф., Москва, 29–30 янв. 2009. – М., 2009. – С. 111–112.

Голубек П. Источник с периодической активностью в «Черной долине» – спелеологический и гидрологический феномен Низких Татр / П. Голубек, Н. Ермаков; пер. на рус. яз. Т. Скороходовой // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 5–12.

Горбунов А. А. Подготовка пещерных дайверов в России / А. А. Горбунов // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 144–149.

Горкун К. А. Описание Нижней и Мраморной пещер массива Псеашхо (Западный Кавказ) / К. А. Горкун // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 108–109.

Гудзенко В. В. Торий-урановые отношения горных пород и спелеотем на основе гамма-спектрометрии высокого разрешения / В. В. Гудзенко // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 88–91.

Гуныко А. А. Искусственные пещеры урочища «Акташская гора» (Татарстан) / А. А. Гуныко // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 82–85.

Гуныко А. А. Подземные выработки Юго-Восточной части Камско-Устьинского гипсового месторождения / А. А. Гуныко // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 67–72.

Гутарева О. Кайнозойский карст в Приольхонье (юго-западное побережье оз. Байкал) / О. Гутарева // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 77–82.

Гутарева О. С. Техногенная активизация карста залива Мухар–Желга (Братское водохранилище) / О. С. Гутарева // Строение литосферы и гидродинамика: материалы 23-й Всерос. молодеж. конф. – Иркутск, 2009. – С. 220–221.

Диянова О. П. Особенности карстовых озер западного склона Южного Урала / О. П. Диянова, В. Р. Ишменова // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества: материалы заоч. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию высш. геогр. образования в Челяб. обл. и 65-летию Челяб. регион. отд-ния Рус. геогр. о-ва. – Челябинск, 2009. – С. 157–161.

Дровина С. И. Растительность карстовых воронок в средней подзоне тайги /

С.И. Дронина // Вестн. Поморского ун-та. – 2009. – № 4. – С. 42–46.

Елкин В. А. Некоторые результаты изучения карстовых процессов полярного Предуралья: оценка карстового экономического риска для трубопроводов / В. А. Елкин // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Геориск – 2009», Москва, 21 мая 2009. – М., 2009. – Т. 2. – С. 91–95.

Жакова У. В. История исследования воклюза «Голубое озеро» / У. В. Жакова // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 113–120.

Житенев В. С. Предварительные результаты мониторинга и проблемы сохранности археологического комплекса Каповой пещеры / В. С. Житенев // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 142–150

Замятин А. Г. Изучение процессов карстообразования геофизическими методами: докл. [Науч. симп. «Неделя горняка – 2008», Москва, 28 янв. – 1 февр. 2008] / А. Г. Замятин // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2009. – № 4. – С. 324–328.

Званцев В. В. Пещеры – памятники природы Красноярского края / В. В. Званцев, М. А. Крюкова, О. Н. Ногина // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 143–146.

Идрисов И. А. Пещеры массива Эльдама / И. А. Идрисов, И. А. Андреев // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 225–227.

Изварин Е. П. Ископаемые фауны мелких млекопитающих из месторождения навес Светлый на реке Серге : (Средний Урал) / Е. П. Изварин // Эволюционная и популяционная экология (назад в будущее): материалы конф. Молодых ученых, посвящ. 90-летию со дня рожд. С. С. Шварца, 30 март. – 3 апр. 2009 г. / Ран, УрО, Ин-т экологии растений и животных; [ред. Д. В. Веселкин и др.]. – Екатеринбург, 2009. – С. 75–79.

К вопросу о напряженно-деформированном состоянии областей, подверженных карстогенезу / А. А. Барях, Е. П. Русин, С. Б. Стажевский [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 6. – С. 3–10.

К 95-летию со дня рождения В. С. Лукина // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 154–165.

Кадебская О. И. Геологические, гидрогеологические и гидрогеохимические предпосылки формирования Ординской пещеры / О. И. Кадебская, Н. Г. Максимович // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 12–21.

Кадебская О. И. Карстовые формы в районе Ординской пещеры (Пермский край, Россия) / О. И. Кадебская, Н. Г. Максимович, У. В. Жакова // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 60–65.

Кадебская О. И. Использование геоинформационных систем для определения карстоопасности территории г. Кунгура / О. И. Кадебская, М. С. Пятунин // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач: материалы годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидроэкологии, Москва, 23–24 март. 2009 г. – М., 2009. – Вып. 11. – С. 33–36.

Кадебская О. И. Исследование газового состава воздуха в Кунгурской Ледяной пещере / О. И. Кадебская, А. С. Южанин // Горное эхо: Вестн. Горн. ин-та УрО РАН. – Пермь, 2009. – № 4. – С. 28–35.

Кадебская О. И. Оценка современного состояния пещер, содержащих

плейстоценовые отложения на территории Пермского края / О. И. Кадебская // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 106–112.

Кадебская О. И. Составление регламента проветривания Кунгурской Ледяной пещеры / О. И. Кадебская, Н. А. Трушкова // Горное эхо: Вестн. Горн. ин-та УрО РАН. – Пермь, 2009. – № 4. – С. 35–42.

Кадебская О. И. Экологическая минералогия Кунгурской Ледяной пещеры / О. И. Кадебская, И. И. Чайковский // Горное эхо: Вестн. Горн. ин-та УрО РАН. – Пермь, 2009. – № 3. – С. 28–37.

Казаков В. Л. Анализ подземного карста юга Кривбасса с позиций гипогенного спелеогенеза / В. Л. Казаков, В. А. Шипунова, О. А. Калининченко // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 83–87.

Капралов С. А. Население беспозвоночных в пещерах урочища Каменного (Нижегородская область) / С. А. Капралов, А. Л. Черноурдский // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 94–99.

Катаев В. Н. Опыт адаптации методов оценки карстовых рисков к территории Пермского края / В. Н. Катаев, Ю. А. Ардавичус, С. А. Пентегова // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Геориск – 2009», Москва, 21 мая 2009. – М., 2009. – Т. 2. – С. 70–77.

Клецкина О. В. Карстовые формы как объекты охраны / О. В. Клецкина, А. А. Ощепков, А. С. Доброва // Геология в развивающемся мире: материалы конф. студентов, аспирантов и молодых ученых геол. фак. Перм. гос. ун-та. – Пермь, 2009. – С. 146–149.

Климчук А. Б. Гипогенный карст юго-западной части Предгорного Крыма / А. Б. Климчук, Г. Н. Амеличев, Е. И. Тимохина // Геол. журн. – 2009. – № 1. – С. 63–82.

Климчук А. Б. Карстопоявления юго-западной части Предгорного Крыма с позиций теории гипогенного спелеогенеза / А. Б. Климчук, Г. Н. Амеличев, Е. И. Тимохина // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 35–53.

Климчук А. Б. Международная конференция «Гипогенный спелеогенез и гидрогеология карста артезианских бассейнов» / А. Б. Климчук // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 100–102.

Козлова Н. Н. К истории развития экскурсионного обслуживания посетителей Кунгурской Ледяной пещеры. 1980–е годы / Н. Н. Козлова, Д. В. Наумкин // Грибушинские чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл. и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр. 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 373–376.

Козлова Н. Н. К истории развития экскурсионного обслуживания посетителей Кунгурской Ледяной пещеры (Пермский край). 1980–е годы / Н. Н. Козлова, Д. В. Наумкин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 169–173.

Компьютерное картографирование и моделирование в целях прогнозной оценки карстоопасности / В. Н. Катаев, С. В. Щербаков, Д. Р. Золотарев [и др.] // Сергеевские чтения «Моделирование при решении геоэкологических задач»: материалы годич. сес. Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидроэкологии, Москва, 23–24 марта 2009. – М., 2009. – Вып. 11. – С. 109–114.

Кондрасенко И. История открытия и краткая характеристика пещеры Водораздельная / И. Кондрасенко // Пещеры: охрана, история исследований, культура,



туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. С. 228–229.

Косинцев П. А. Четвертичные млекопитающие из пещер Кизеловского карстового района / П. А. Косинцев // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 73–80.

Кочев Н. А. Оценка карстоопасности территории проектируемого строительства на примере Автозаводского района г. Нижний Новгород / Н. А. Кочев // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Геориск – 2009», Москва, 21 мая 2009. – М., 2009. – Т. 1. – С. 172–176.

Кошелева Т. М. Проблема использования карстовых ландшафтов при размещении полигонов твердых бытовых отходов в Нижегородской области / Т. М. Кошелева // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2009. – 11. – № 1. – С. 219–222.

Кузьмина Ю. Л. Микологическая оценка очагов повреждения известняка в пещере «Шульган–Таш» / Л. Ю. Кузьмина, О. Я. Червяцова // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 112–119.

Кузьмина Л. Ю. Микромицеты из очага биогенной коррозии кальцита в пещере Шульган–Таш / Л. Ю. Кузьмина, О. Я. Червяцова // Иммунопатология, аллергология, инфектология: тр. междисциплинарной миколог. форума. – 2009. – № 2. – С. 56–57.

Лавров И. А. Малые пещеры г. Кунгура / И. А. Лавров // Грибушинские чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл. и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр., 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 343–34.

Лаврова Н. В. К вопросу о распространении карстовых брекчий / Н. В. Лаврова // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: материалы 15-го Геол. съезда Респ. Коми, Сыктывкар, 13–16 апр. 2009. – Сыктывкар, 2009. – Т. 2. – С. 128–129.

Лаврова Н. В. К вопросу об истории изучения карстовых явлений на северном окончании Уфимского плато / Н. В. Лаврова // Грибушинские чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл. и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр. 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 339–340.

Лаврова Н. В. Особенности строения приконтактной зоны оледенения в Кунгурской Ледяной пещере / Н. В. Лаврова // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 30–32.

Лаптева Е. Г. Ландшафтно-климатические изменения на восточном склоне Северного Урала за последние 50 тыс. лет / Е. Г. Лаптева // Экология. – 2009. – № 4. – С. 284–290.

Лукашев А. А. Реальная карстовая составляющая в развитии ландшафтов Смоленского поозерья / А. А. Лукашев // Геоморфология. – 2009. – № 4. – С. 92–99.

Ляхницкий Ю. С. Морфогенетические особенности карстовой системы Шульган–Таш / Ю. С. Ляхницкий, Е. В. Трофимова, О. Я. Червяцова // Геоморфология. – 2010. – Вып. 3. – С. 59–66.

Мавлюдов Б. Р. О климате пещер / Б. Р. Мавлюдов // Современные проблемы климатологии: материалы Всерос. конф., посвящ. 100-летию проф. Олега Алексеевича Дроздова (1909 – 2001), 20–22 окт. 2009 г. – СПб., 2009. – С. 89–91.

Мавлюдов Б. Р. О процессах расширения трещин / Б. Р. Мавлюдов // Пещеры:

охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 13–19.

Мавлюдов Б. Р. Пещеры острова Кинг-Джордж, Антарктика / Б. Р. Мавлюдов // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 26–35.

Мазина С. Е. Оценка контаминации водного потока пещеры Солдатской (Крым) / С. Е. Мазина, А. Л. Николаев, А. В. Гопин // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 6. – С. 722–729.

Мазина С. Е. Повышение эффективности экологически безопасных методов удаления фотосинтезирующих организмов в экскурсионных пещерах / С. Е. Мазина, А. В. Северин, В. Е. Божевольнов // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 4. – С. 70–75.

Мазина С. Е. Проблема «ламповой флоры» в пещерах / С. Е. Мазина // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 149–155.

Мазина С. Е. Разработка методов восстановления подземной экосистемы на примере Новоафонской пещеры / С. Е. Мазина, А. В. Северин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 146–148.

Мазина С. Е. Роль водорослей в подземных биоценозах, формирующихся при искусственном освещении / С. Е. Мазина, А. В. Северин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 115–116.

Мазина С. Е. Сообщества фотосинтезирующих организмов, развивающихся в условиях искусственного освещения на оборудованном участке пещеры Мраморная / С. Е. Мазина // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 92–99.

Макаров Н. П. Пещера Еленева – многослойный голоценовый памятник на Среднем Енисее. Краткие итоги изучения / Н. П. Макаров, Н. В. Мартынович, Н. Д. Оводов // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 81–105.

Максимович Н. Г. Вклад Г. А. Максимовича в развитие научной спелеологии / Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 8–12.

Максимович Н. Г. Пути решения экологических проблем, связанных с развитием карста в угледобывающих районах / Н. Г. Максимович // Экология и охрана труда. – 2009. – № 5. – С. 12–18.

Максимович Н. Г. Роль Г. А. Максимовича в развитии научной спелеологии / Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 5–10.

Маринин А. М. Спелеорекреационные объекты Алтае–Саянского экорегиона российского и мирового статуса / А. М. Маринин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 230–244.

Маряхина Н.Н., Максимова Ю.Г., Толпешта И.И., Соколова Т.А. Химико-

минералогическая характеристика подзолистых почв Центрального Лесного заповедника в местах распространения карстовых образований // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2009. № 3. С. 25–31.

Международный симпозиум по изучению пещерных льдов – IWIC-III / А. И. Жиров, А. Н. Ласточкин, Д. В. Лопатин [и др.] // Геоморфология. – 2009. – № 2. – С. 110–111.

Мещерякова О. Ю. Очистка нефтезагрязненных подземных вод в районе распространения карстующихся сульфатных пород / О. Ю. Мещерякова // Геология в развивающемся мире: материалы конф. студентов, аспирантов и молодых ученых геол. фак. Перм. гос. ун-та. – Пермь, 2009. – С. 149–153.

Минькевич И. И. 75 лет со дня рождения Евгения Павловича Дорофеева (1934 – 1998) / И. И. Минькевич // Гидрогеология и карстование: межвуз. сб. науч. тр. – Пермь; Оренбург, 2009. – Вып. 18. – С. 292–293.

Мозжерин В. И. Проблемы современного карстования / В. И. Мозжерин // Геоморфология. – 2009. – № 4. – С. 109–111. – Рец. на кн.: Торсуев Н. П. Пространственно-временная организация карстовых систем / Н. П. Торсуев. – Казань: Отечество, 2007. – 180 с.

Морозов О. Н. Новые пещеры в Восточном Саяне (Бурятия) / О. Н. Морозов // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 104–106.

Назаров Н. Н. Особенности морфолитогенеза карстовых берегов Камского водохранилища / Н. Н. Назаров, И. В. Фролова // Геоморфология. – 2009. – № 4. – С. 92–99.

Наумкин Д. В. Зимовочное скопление гребенчатых тритонов в Бабиногорской пещере (Кунгурский район, Пермский край) / Д. В. Наумкин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 113–114.

Некоторые итоги изучения микробных сообществ карстовых пещер Средней Сибири (по Khizhnyak S. V. et al, с дополнениями) / С. В. Хижняк, Е. В. Нестеренко, А. А. Ким, И. В. Трусей // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 133–135.

Новости из Тигирекских пещер / Д. А. Аникин, В. К. Вистингаузен, О.Н. Горбатова [и др.] // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 249–263.

Обнаружение карста и сопряженных с ним суффозионных процессов в условиях Москвы и Московского региона методом сейсморазведки / А. Г. Гиноман, В.П. Голосов, Б. А. Гранит, Е. А. Гурова // Геофизика. – 2009. – № 6. – С. 20–23.

Обсуждение основных понятий системного геоморфологического анализа // Геоморфология. – 2009. – № 4. – С. 3–12.

Оводов Н. Д. Найти бы зуб плейстоценового человека в копролите пещерной гиены / Н. Д. Оводов, Н. В. Мартынович // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 66–70.

Оводов Н. Д. Палеофаунистические итоги полувекового исследования сибирских пещер / Н. Д. Оводов // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г.

Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 54–65.

Осинцев А. В. Ленская Ледяная пещера в Якутии – новейшая история / А. В. Осинцев // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 138–143.

Осинцев А. В. Пещера Ботовская – длиннейшая пещера России / А. В. Осинцев // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 206–207.

Осинцев А. В. Пещера Охотничья – новая крупная пещера в Прибайкалье / А. В. Осинцев // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 208–209.

Особенности микроэлементного состава современных и ископаемых костных и зубных тканей млекопитающих / Д. В. Киселева, С. Л. Вотяков, Н. О. Садыкова, Н. Г. Смирнов // Ежегодник – 2008 / РАН, УрО, Ин-т геологии и геохимии; [отв. ред. В. А. Коротаев]. – Екатеринбург, 2009. – С. 318–322. – (Тр. / Ин-т геологии и геохимии УрО РАН. – Вып. 156).

Остапенко А. А. Особенности развития и распространения карстовых форм в эвапоритовых толщах Западного Кавказа / А. А. Остапенко, О. Ю. Крицкая // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 66–72.

Оценка мощности эпикарстовой зоны по распределению глубин воронок / А. Б. Климчук, Г. Н. Амеличев, В. Г. Науменко, С. В. Токарев // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 26–38.

Оценка уязвимости подземных вод районов открытого карста (на примере массива Ай-Петри, Крым) / В. М. Шестопалов, А. Б. Климчук, С. В. Токарев, Г. Н. Амеличев // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 11–29.

Павлов С. Х., Чудненко К. В., Тржцинский Ю. Б. Формирование оползневых процессов в карбонатных и сульфатно-карбонатных породах: физико-химические аспекты, гидрогеологические и структурные особенности // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2009. – № 5. – С. 433–443

Памяти Юрия Болеславовича Тржцинского // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 150–154.

Паньков Н. Н. Беспозвоночные животные пещер Пермского края: фауна, экологическая структура, хорология и сезонная динамика / Н. Н. Паньков, О. С. Старова, Н. В. Панькова // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 72–83.

Паньков Н. Н. К популяционной биологии Crangonyx Chlebnikovi Borutzky, 1928 (amphipoda: gammaridae) из трех пещер Приуралья / Н. Н. Паньков, О. С. Старова // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 84–93.

Перспективы использования микроорганизмов карстовых пещер в сельскохозяйственной биотехнологии / С. В. Хижняк, Е. П. Ланкина, И. Р. Илиенц, Е. В. Нестеренко // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 135–137.

Пещерные местонахождения остатков фауны Станового нагорья (Россия) / А. Г. Филиппов, М. А. Ербаева, И. Е. Гребнев [и др.] // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 76–81.

Потапов С. С. Карстовые проявления района верхнего течения реки Сим как потенциальный туристический ресурс / С. С. Потапов, Н. В. Паршина // Грибушинские

чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр. 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 336–339.

Потапов С. С. Ледяные образования и связанная с ними кристаллизация криогенного гипса в Октябрьских пещерах (Пермский край) / С. С. Потапов, Н. В. Паршина, О. И. Кадебская // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 60–67.

Пространственное соотношение химического состава вод иренского водоносного горизонта и карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) / В. Н. Катаев, О. М. Лихая, Т. Г. Ковалева [и др.] // Вестник Пермского университета. – 2009. – Вып. 11 (37). Геология. – С. 66–76.

Пятьдесят лет открытия палеолитической живописи в Каповой пещере (Шульган–Таш) / Ю. С. Ляхницкий, О. А. Минников, О. Я. Червяцова, А. А. Юшко // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 121–129.

Рапп В. Исторические корни мифов и преданий о Ледяной пещере / В. Рапп // Грибушинские чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл. и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр. 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 378–381.

Ридуш Б. Т. Палеонтологическая экспедиция в пещерах Одессы / Б. Т. Ридуш, К. К. Пронин // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 107–108.

Ридуш Б. Т. Про работу осенней 2008 года палеонтологической экспедиции в пещере Емине-Баир-Хосар (плато Чатырдаг, Крым) / Б. Т. Ридуш // Спелеология и карстология. 2009. – № 2. – С. 106–107.

Рупышева Т. А. Позднеголоценовая фауна мелких млекопитающих восточного склона Среднего Урала / Т. А. Рупышева // Эволюционная и популяционная экология (назад в будущее): материалы конф. молодых ученых, посвящ. 90-летию со дня рожд. С. С. Шварца, 30 март. – 3 апр. 2009 г. / Ран, УрО, Ин-т экологии растений и животных; [ред. Д. В. Веселкин и др.]. – Екатеринбург, 2009. – С. 197–199.

Сердюк Н. В. Позднеплейстоценово–голоценовые мелкие млекопитающие Северо-Западного и Центрального Алтая / Н. В. Сердюк // Палеонтология и совершенствование стратиграфической основы геологического картографирования. LV сес. Палеонтол. о-ва. – СПб., 2009. – С. 133–134.

Сердюк Н. В. Природное окружение палеолитического человека на территории Северо-Западного Алтая / Н. В. Сердюк // Фундаментальные проблемы квартара: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: материалы 6-го Всерос. совещ. по изучению Четвертичного периода, 19–23 октября 2009 г. – Новосибирск, 2009. – С. 549–551.

Сериков Ю. Б. Археологические экскурсии: от Каповой пещеры до самоцветных копей Мурзинки / Ю. Б. Сериков // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 25–32.

Сивинских П. Н. Использование искусственных подземных выработок г. Геленджика в рекреационных целях / П. Н. Сивинских // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 166–169.

Сквалецкий Е. Н. Развитие галогенного карста на Илецком месторождении / Е. Н. Сквалецкий, М. Ю. Тихова // Гидрогеология и карстоведение: межвуз. сб. науч. тр. – Пермь; Оренбург, 2009. – Вып. 18. – С. 207–211.

Совершенствование технологии очистки известняка от глины при разработке закарстованного месторождения / А. В. Юдин, Ю. В. Ковырзин, Е. Г. Щавлев [и др.] // Горн. журн. – 2009. – № 10. – С. 61–63.



Соколов Ю. В. Спелеотуристический потенциал Республики Башкортостан / Ю. В. Соколов // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 27–38.

Солодейников А. К. Об интерпретации и фиксации наскальных изображений / А. К. Солодейников // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 125–141.

Сравнительный анализ карстово-оползневой рельефа северного Кавказа с эквивалентными формами южного Крыма / В. И. Боглаев, Н. А. Бондаренко, Ю. П. Васильев, Т. В. Любимова // ГеоИнжиниринг. – 2009. – № 1. – С. 44–51.

Старова О. С. Беспозвоночные животные – обитатели Бабиногорской пещеры (окрестности Кунгура) / О. С. Старова, Н. Н. Паньков, Н. В. Панькова // Грибушинские чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл. и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр. 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 347–350.

Сухачев В. В. Пещера Сарма, история исследования / В. В. Сухачев // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 274–278.

Схематизация геологической среды для составления карты опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов на территории г. Москвы / В. М. Кутепов, Н. Г. Анисимова, Е. М. Грибов [и др.] // Сергеевские чтения «Моделирование при решении геоэкологических задач»: материалы годич. сес. Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидроэкологии, Москва, 23–24 марта 2009. – М. 2009. – Вып. 11. – С. 60–64.

Тимохина Е. И. 15-й Международный спелеологический конгресс (Керрвилль, Техас, США) / Е. И. Тимохина // Спелеология и карстология. – 2009. – № 2. – С. 102–103.

Толмачев В. В. Вопросы инженерного карстования в трудах В. С. Лукина / В. В. Толмачев // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 166–171.

Толмачев В. В. О допустимых удельных карстовых рисках для строительных объектов / В. В. Толмачев, Т. Ф. Мамонов // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Геориск – 2009», Москва, 21 мая 2009. – М., 2009. – Т. 2. – С. 33–38.

Толстихина Н. А. Оценка качества воздуха пещер Караульная–2 и Ледяная / Н. А. Толстихина, А. А. Кимм, Т. А. Пахомова // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 49–54.

Торсуев Н. П. Начальные этапы истории изучения карста севера европейской территории России (1837–1917 гг.) / Н. П. Торсуев // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: материалы 15 Геол. съезда Респ. Коми, Сыктывкар, 13–16 апр. 2009. – Сыктывкар, 2009. – Т. 3. – С. 418–420.

Трофимова Е. В. Пещеры Иркутского амфитеатра: проблемы использования и сохранения / Е. В. Трофимова // Геоэкология. Инженер. геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2009. – № 6. – С. 507–514.

Трофимова Е. В. Пещеры с многолетним льдом – объекты природного

наследия (на примере Иркутского амфитеатра) / Е. В. Трофимова // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 20–29.

Уникальные железо-марганцевые колонии микроорганизмов в пещере Золушка (Украина – Молдова) / В. Андрейчук, А. Климчук, П. Бостон, Е. Галускин // Спелеология и карстология. – 2009. – № 3. – С. 5–25.

Учитель М. С., Филонюк В. А., Ткаченко М. В. О возможности оценки аллювиально-карстовых россыпей р. Тонода (Бодайбинский район) как рудных месторождений в корах выветривания // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2009. – Т. 35. – № 2. – С. 78–88.

Филиппов А. Г. Ледяная Ленская пещера в Якутии / А. Г. Филиппов // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 130–138.

Хамидуллина Г. Г. Инновационные подходы к усовершенствованию системы эколого–просветительской деятельности в музейном комплексе заповедника «Шульган–Таш» / Г. Г. Хамидуллина, Т. Г. Хамидуллина, О. Я. Червяцова // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 151–159

Хатченков Е. В. Современные подходы к исследованию геологического пространства при детальном изучении динамики развития карстовых процессов / Е. В. Хатченков // Геология: история, теория, практика: междунар. конф., посвящ. 250-летию Гос. геол. музея им. В. И. Вернадского РАН, Москва, 14–16 окт. 2009: тез. докл. – М., 2009. – С. 261–263.

Хижняк С. В. Микробиологическая характеристика пещеры Маячная / С. В. Хижняк, Е. П. Ланкина // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 127–132.

Хмурчик В. Т. О механизме образования «пещерного сала» / В. Т. Хмурчик // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 100–101.

Хоменко В. П. Карстово-обвальные провалы «сложного» типа: физическое моделирование / В. П. Хоменко // Инженер. геология. – 2009. – № 3. – С. 34–41.

Худеньких К. О. История мониторинговых исследований в Кунгурской Ледяной пещере / К. О. Худеньких // Грибушинские чтения – 2009. Музей в пространстве и времени: тез. докл. и сообщ. VII межрегион. науч.-практ. конф. (г. Кунгур, 23–25 апр. 2009 г.). – Кунгур, 2009. – С. 340–343.

Худеньких К. О. Микроклиматический мониторинг в Кунгурской Ледяной пещере / К. О. Худеньких // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: материалы 15 Геол. съезда Респ. Коми. Сыктывкар, 13–16 апр. 2009. – Сыктывкар, 2009. – Т. 3. – С. 340–342.

Цыкин Р. А. Сотрудничество общественного спелеологического движения и ученых-карстоведов / Р. А. Цыкин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 265–268.

Червяцова О. Я. Карстовые озера Ыгышма и Ыылкасыккан: предварительные результаты морфогенетической оценки / О. Я. Червяцова, Д. М. Байзигитов // Природное и культурное наследие Южного Урала как

инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 185–191.

Червяцова О. Я. Микроклиматические исследования пещеры Шульган–Таш (Капова), направленные на сохранение ее палеолитической живописи / О. Я. Червяцова, Ю. С. Ляхницкий, Д. М. Байзигитов // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 41–49.

Червяцова О. Я. Ограниченное экскурсионное использование пещеры Шульган–Таш (Южный Урал) и проблемы сохранения ее палеолитической живописи / О. Я. Червяцова, Ю. С. Ляхницкий, Д. М. Байзигитов // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 156–165.

Червяцова О. Я. Проблемы инженерной спелеологии при использовании пещер как экскурсионных объектов / О. Я. Червяцова, Ю. С. Ляхницкий // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию открытия А. В. Рюминым палеолитической живописи Каповой пещеры. – Уфа, 2009. – С. 39–74.

Шаврина Е. В. Изучение пещер Пинежья, история и современность / Е. В. Шаврина // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 217–224.

Шаврина Е. В., Исследование сифонов в пещерах Архангельской области / Е. В. Шаврина, В. Н. Малков // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 22–26.

Шаврина Е. В. Исследования карста и пещер в Пинежском заповеднике / Е. В. Шаврина // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. С. 33–40.

Шаврина Е. В. Мониторинг экзогенных геологических процессов в поверхностном и подземном карсте европейского Севера России / Е. В. Шаврина // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Геориск – 2009», Москва, 21 мая 2009. – М., 2009. – Т. 1. – С. 98–102.

Шаврина Е. В. Охрана карста и пещер Архангельской области / Е. В. Шаврина // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 138–142.

Шаврина Е. В. Уникальные карстовые объекты Архангельской области, нуждающиеся в охране / Е. В. Шаврина // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 101–112.

Шелепин А. Л. История исследования пещеры Снежная / А. Л. Шелепин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 268–274.

Шешеня Н. Л. Основные закономерности развития карста в карбонатных

породах / Н. Л. Шешеня // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: тр. Междунар. науч. конф., Москва, 29–30 янв. 2009. – М., 2009. – С. 74–75.

Шкудина Ф. Б. Планктонная альгофлора разнотипных озер Республики Башкортостан / Ф. Б. Шкудина, Г. А. Гуламанова // Ботанический журн. – 2009. – Т. 94, № 9. – 1257–1266.

Шкурыгин Д. История Владивостокского городского клуба спелеологов / Д. Шкурыгин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 283–291.

Экологические аспекты спелеологической деятельности: полемика из спелеорассылки (CML) // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 189–205.

Юрин В. И. Открытие погребенных пещер на территории Южного Урала / В. И. Юрин // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества: материалы заоч. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию высш. геогр. образования в Челяб. обл. и 65-летию Челяб. регион. отд-ния Рус. геогр. о-ва. – Челябинск, 2009. – С. 181–183.

Юрин В. И. Поиск и изучение карстовых объектов на территории Южного Урала: по итогам работы Сикиз-Тамакской комплексной научной экспедиции 1995–2008 гг. / В. И. Юрин // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР: материалы науч.-практ. конф., 1–4 нояб. 2008 г., г. Красноярск. – Красноярск, 2009. – С. 209–216.

Юшманов Ю. П., Панов С. О., Денег Е. Р., Кольноокая Е. Ю. Карстовые пещеры малого Хингана – геологические памятники природы Еврейской автономной области // Вестник ДВГСГА. – Сер. 2. Естественнонаучные знания. – № 2 (3) – 2009 – С. 47–62

*Сост. Т.А. Иванова, И.К. Трубина, Н.Г. Максимович*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	4
<b>ГЕОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС ПЕЩЕР</b> .....	5
Долотов Ю.А. Пещеры юго-восточного склона горы Беш-Кош (Крым).....	5
Шаврина Е.В. Мониторинг динамических параметров подземной среды Европейского Севера России.....	9
Мавлюдов Б.Р. Гигантские гипсовые кристаллы в пещерах Найка (Мексика)...	19
<b>ОТЛОЖЕНИЯ ПЕЩЕР</b> .....	35
Мазина С.Е., Семиколенных А.А. Различные формы лунного молока пещер России в свете проблемы генезиса.....	35
Хилл К., Форти П. Минералы пещер мира. Избранные главы (Сульфаты). Перевод Н.В. Лавровой.....	45
Жакова У.В. Минеральные образования карстовых полостей как индикатор изменений климата. По результатам минералогических исследований пещеры Попонго (карстовый массив Маргуарейс, Северная Италия).....	65
Максимович Н.Г. Потапов С.С., Мещерякова О.Ю. Натечные техногенные минеральные образования.....	72
Смирнов В.А. Глинистые образования из пещеры Расикский Лабиринт.....	82
Кадебская О.И., Ридуш Б.Т., Чайковский И.И. Позднеплейстоценовое местонахождение фауны в Кизеловской (Виашерской) пещере: геологические аспекты .....	87
Фадеева Т.В., Косинцев П.А., Ридуш Б.Т. Позднеплейстоценовое местонахождение фауны в Кизеловской (Виашерской) пещере: палеонтологические аспекты.....	96
Чурилов Э.В. Позднеплейстоценовое местонахождение фауны в Кизеловской (Виашерской) пещере: археологические аспекты.....	111
<b>ИСКУССТВЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ПРОСТРАНСТВА</b> .....	115
Васин Р.А., Казадаев Д.С., Червяцова О.Я. Состояние и перспективы исследования искусственной пещеры Сокская 1/3 (Самарская область).....	115
Гунько А.А. Антоновский гипсовый рудник.....	118
<b>БИОСПЕЛЕОЛОГИЯ</b> .....	122
Абдуллин Ш.Р. Экология цианобактерий и водорослей пещеры Куэшта (республика Башкортостан).....	122
Хмурчик В.Т. Максимович Н.Г. Мещерякова О.Ю. Микроорганизмы, карст, нефть и спелеогенез.....	130
Паньков Н.Н., Андреев А.И., Старова О.С., Малеев А.С., Шустов В.М. К физиологии стигобионтных бокоплавов Crangonux Chlebnikovi Borutzky, 1928 (Crangonuctidae).....	136
<b>ОХРАНА ПЕЩЕР</b> .....	143
Семиколенных А.А., Рахлеева А.А., Попутникова Т.В. Влияние отхода отработки карбиды кальция на окружающую среду пещер и каменоломен.....	143
<b>ПОТЕРИ СПЕЛЕОЛОГИИ</b> .....	153
Татьяна Ивановна Устинова (1912–2009).....	153
<b>РЕЦЕНЗИИ</b> .....	154
<b>СВЕДЕНИЯ О ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЯХ ПО СПЕЛЕОЛОГИИ И КАРСТУ</b> .....	158
<b>ХРОНИКА</b> .....	160
<b>БИБЛИОГРАФИЯ ПО КАРСТУ И ПЕЩЕРАМ 2009 г.</b> .....	168



## THE CONTENTS

<b>FOREWORD</b> .....	4
<b>GEOLOGY AND GENESIS OF CAVES</b> .....	5
Dolotov Y.A. Caves of the southeast slope mountains Besh-Kosh (Crimea).....	5
Shavrina E.V. Monitoring dynamic parameter underground ambience of the European North to Russia.....	9
Mavludov B.R. Giant gypsum crystals in caves of Naica (Mexico).....	19
<b>DEPOSITS OF CAVES</b> .....	35
Mazina S.E., Semikolennykh A.A. The genesis problem of different forms of moon-milk from Russian caves.....	35
Hill K., Forti P. Cave minerals of the world. Selected chapters (Sulfates). Translated by Lavrova N.V.....	45
Jakova U.V. The mineral formations from caves are indicator of climate fluctuation. By the findings of minerals from Popongo cave. (Karstic massif Marguareis, Northern Italy).....	65
Maximovich N.G., Potapov S.S., Meshcheryakova O. Yu. The tectogenic speleothems.....	72
Smirnov V.A. Clay formations from the Rasiksky Labyrinth Cave.....	82
Kadebskaya O.I., Ridush B.T., Tchaikovskiy I.I. Late pleistocene site in the Kizelovskaya (Viasherskaya) Cave: geological aspects.....	87
Fadeeva T.V., Kosintsev P.A., Ridush B.T. Late pleistocene site in the Kizelovskaya (Viasherskaya) Cave: paleontologic aspects.....	96
Churilov E.V. Late pleistocene site in the Kizelovskaya (Viasherskaya) Cave: archaeological aspects.....	111
<b>THE ARTIFICIAL UNDERGROUND SPACES</b> .....	115
Vasin R.A., Kazadaev D.S., Chervyatsova O.Y. Condition and prospects of research of the Soksky 1/3 Artificial Cave (Samara region).....	115
Gunko A.A. Antonovski gypsum mine.....	118
<b>BIOSPELEOLOGY</b> .....	122
Abdullin Sh.R. Ecology of cyanobacteriae and algae in Kueshta Cave (Bashkortostan Republic).....	122
Khmurchik V.T., Maximovich N. G., Meshcheryakova O. Yu. Microorganisms, karst, oil, speleogenesis.....	130
Pan'kov N.N., Andreev A.I., Starova O.S., Maleev A.S., Shustov V.M. Some aspects of physiology of subterranean amphipod Crangonyx Chlebnikovi Borutzky, 1928 (Crangonyctidae).....	136
<b>PROTECTION OF THE CAVES</b> .....	143
Semikolennykh A.A., Rakhleeva A.A., Poputnikova T.V. An environmental impact assessment of spent calcium carbide disposal in caves and mines.....	143
<b>LOSSES OF SPELEOLOGY</b> .....	153
Tatjana Ivanovna Ustinova (1912–2009).....	153
<b>REVIEWS</b> .....	154
<b>THE INFORMATION ABOUT SPELEOLOGICAL AND KARSTIC PERIODICALS</b> .....	158
<b>THE CHRONICLE</b> .....	160
<b>THE BIBLIOGRAPHY OF KARST AND CAVES FROM 2009</b> .....	168

*Научное издание*

**ПЕЩЕРЫ**

Сборник научных трудов  
Выпуск 33

Редактор С.Б. Русиешвили  
Корректор Е.К. Борисова

Подписано в печать, \_\_\_\_\_ 2010 Формат 60х84/16.

Усл. печ. л.

Тираж 200 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел  
Пермского государственного университета  
614990. Пермь, ул. Букирева, 15

ООО «АРТ «Символ»  
614000. Пермь, ул. Орджоникидзе, 14

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Авторов, направляющих статьи и сообщения в сборник «Пещеры» просим придерживаться следующих правил.

Принимаются статьи, краткие сообщения и информация о карстовых и псевдокарстовых пещерах земного шара; о методах их изучения; о минералогии пещер; спелеотерапии; археологии; охране и рациональном использовании подземных пространств; рецензии и сообщения о событиях и изданиях в области спелеологии и карстоведения.

### Требования к представлению текстов докладов:

**И.О.Фамилии авторов (Times New Roman 11)**

*1 строка пустая*

*Название организации (Times New Roman 11)*

*1 строка пустая*

### **НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (TIMES NEW ROMAN 12, BOLD)**

**И.О.Фамилии авторов на английском языке (Times New Roman 11)**

*1 строка пустая*

*Название организации на английском языке (Times New Roman 11)*

*1 строка пустая*

### **НАЗВАНИЕ СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ (TIMES NEW ROMAN 12, BOLD)**

*1 строка пустая*

*Summary (Times New Roman 10)*

Краткая аннотация статьи на английском языке (Times New Roman 10)

*1 строка пустая*

Текст объемом до десяти страниц (с рисунками) должен быть представлен в готовом для публикации виде: набран в формате редактора Microsoft Word версии 6 или более поздних; шрифт – Times New Roman 12, normal, интервал между строками – одинарный. Поля: нижнее и верхнее – 2 см, правое и левое – 2,0 см. Абзацный отступ – 0,5 см. Переносы слов не допускаются. Страницы не нумеруются. Оригиналы рисунков соответствующего размера в формате .jpg или .tif со сжатием и разрешением 300 dpi должны быть также представлены в отдельных файлах. В числах вместо десятичной точки используется запятая. Для недопущения нежелательных отрывов в тексте (напр., инициалов от фамилии; числа от его наименования) следует использовать функцию “связанного пробела” (одновременное нажатие Shift-Ctrl-пробел). Статья должна быть переданы в оргкомитет в электронном виде.

Подписи к рисункам (Times New Roman 11) Рис.1. План и разрез пещеры

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (TIMES NEW ROMAN 12, BOLD)**

*1 строка пустая*

1. Турышев А.В. Особенности подземного стока и разгрузки трещинно-карстовых вод северной части Уфимского плато // Тр. Ин-та геологии УФАИ. Свердловск, 1962. Вып. 2. С. 48–53.

Редколлегия сборника принимает материалы до 1 октября 2010 года по адресу:

**614990, Пермь, ГСП, ул. Генкеля, 4,**

**Естественнонаучный институт Пермского**

**государственного университета**

**Николаю Георгиевичу Максимовичу**

**e-mail: nmax@psu.ru; копия: icescave@bk.ru.**

