МАКСИМОВИЧ Н.Г.
Зам. директора по научной работе Естественно-научного института Пермского государственного университета, nmax@psu.ru

КАДЕБСКАЯ О.И.
Научный сотрудник Кунгурской лаборатории-стационара Горного института УрО РАН, icecave@bk.ru

ЖАКОВА У.В.
Инженер-исследователь Естественно-научного института Пермского государственного университета, ulya@psu.ru

MAXIMOVICH N.G.
Deputy director for scientific work of the Natural Sciences Institute of Perm State University, nmax@psu.ru

KADEBSKAYA O.I.
Researcher of the Kungur laboratory of the Mining institute of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, icecave@bk.ru

ZHAKOVA U.V.
Engineer-researcher of the Natural Sciences Institute of Perm State University, ulya@psu.ru

Рис. 1. Проведение карстологических исследований в подводной части Ординской пещеры (фото А. Бизюкина)

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПЕЛЕОПОДВОДНОГО ИЗУЧЕНИЯ КАРСТА

METHODICAL FEATURES OF SPELEOSUBAQUEOUS KARST STUDY

Ключевые слова: карст; карстоопасность; пещеры; спелеподводные исследования.

Аннотация: в статье приведены результаты комплексного карстологического изучения затопленной карстовой полости (наблюдений за движением подземных вод, послойного гидрохимического опробования, морфометрического анализа подводных галерей, литолого-минералогических исследований, совмещения на плане результатов поверхностной съемки карстовых форм с размещением подводных полостей, последующей оценки карстоопасности массива). Объектом изучения стала Ординская пещера — самая протяженная подводная пещера мира в сульфатных отложениях. При исследованиях были объединены усилия геологов и спортсменов-подводников.

Key words: karst; karstic risk; caves; speleosubaqueous research.

Abstract: the article presents results of complex karst study of a flooded karst cavity (observations of the groundwater movements, layerwise hydrochemical sampling, morphometric analysis of subaqueous galleries, lithologic and mineralogical studies, combination on the plan of surface survey results of karst features and subaqueous cavities location, subsequent karstic risk evaluation). The object of the study was the Ordinskaya cave that is the longest subaqueous cave in the world in sulfate deposits. During the studies efforts of geologists and sportsmen-divers were combined.

Изучение карста в методическом отношении является достаточно сложным, что обусловлено многообразием геолого-гидрогеологических условий и форм его проявления, большими глубинами, на которых он может развиваться, и варьированием свойств карстующихся пород (прежде всего растворимости).

Многообразие проявлений карста привело к тому, что наряду с общероссийскими нормативными документами [14 и др.] в регионах разрабатываются территориальные строительные нормы [15, 16, 17].

Благодаря интенсивному развитию спелеологии в 60-е годы прошлого века появились специальные методы исследования внутреннего пространства карстовых массивов. Полученная информация позволила выявить новые закономерности развития этого процесса и более объективно оценивать карстоопасность территорий [3, 7, 8].

В последние десятилетия активно развивается подводная спелеология, объектом исследований которой являются обводненные пещеры. Погружение в них считается экстремальным видом спорта и требует специальной подготовки [1], в связи с чем такие пещеры доступны лишь ограниченному кругу людей, которые, как правило, не являются специалистами в области геологии.

После открытия в марте 1994 года подводной части Ординской пещеры в Пермском крае было начато изучение этого уникального объекта [4, 5, 6, 9, 10]. На протяжении последующих лет авторами совместно со спелеодайверами разрабатывалась специальная методика подводных карстологических исследований (рис. 1). В настоящей статье нашли отражение полученный опыт и первые результаты проведенных исследований.

Рис. 2. Казаковская гора, в недрах которой находится Ординская пещера (фото А. Филимонова)

Общие сведения об Ординской пещере

Ординская пещера находится в недрах Казаковской горы в 1,5 км к северо-западу от с. Орда, в междуречье рек Ирень и Кунгур. Ее длина по данным съемки, выполненной Д.В. Осиповым и др. в 2010 году, составляет 4900 м, в том числе подводной части — 4600 м. Пещера расположена в тюйской, демидковской, елкинской, шалашнинской, неволинской и ледяно-пещерской пачках сульфатно-карбонатных пород иренского горизонта нижней перми и имеет амплитуду 50 м. На сегодняшний день она является самой протяженной подводной пещерой мира в сульфатных отложениях.

В геоморфологическом отношении Казаковская гора высотой от 40 до 60 м относится к пологосклонным холмам с плоской вершиной (рис. 2). Согласно районированию К.А. Горбуновой [2], она входит в иренский район интенсивного карста в гипсах и ангидритах.

Абсолютные отметки рельефа района составляют от 137 м (уреза воды пруда на реке Кунгур) до 196 м (высшей отметки Казаковской горы). Площадь проекции Ординской пещеры на поверхность карстового массива составляет около 1 км^2. В тектоническом отношении данный участок расположен на пологом западном крыле Уфим-

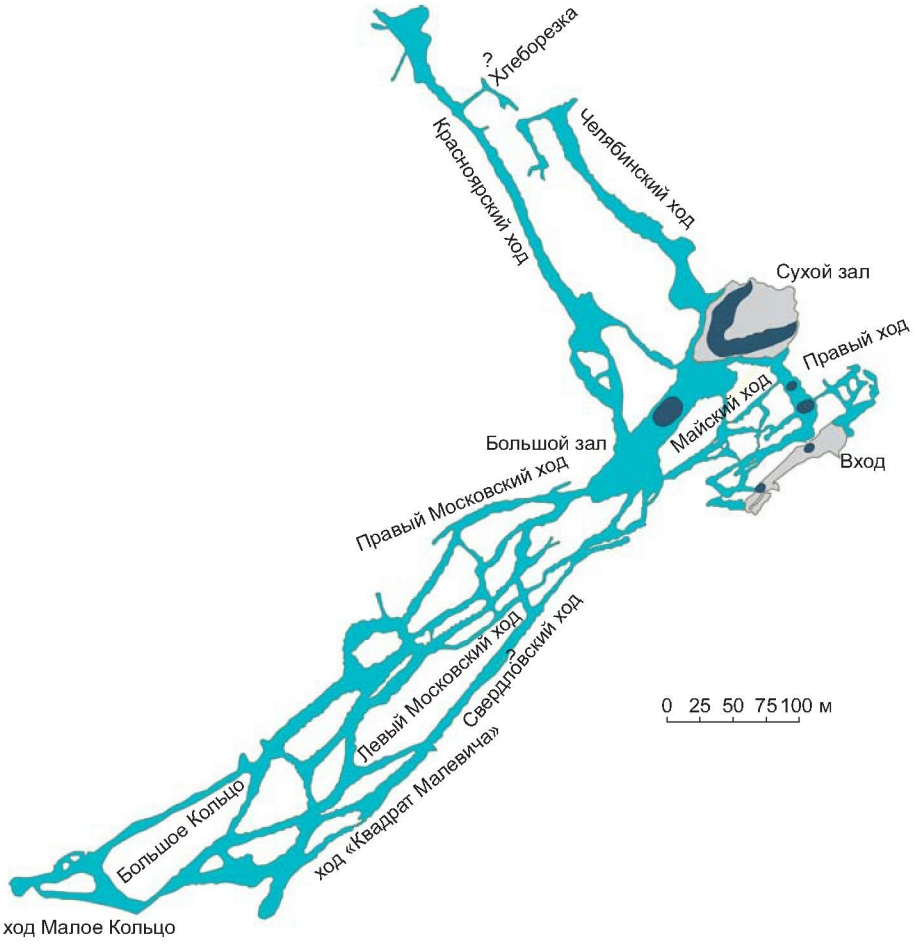

Рис. 3. План Ординской пещеры (по данным Д.В. Осипова, январь 2010 г.)

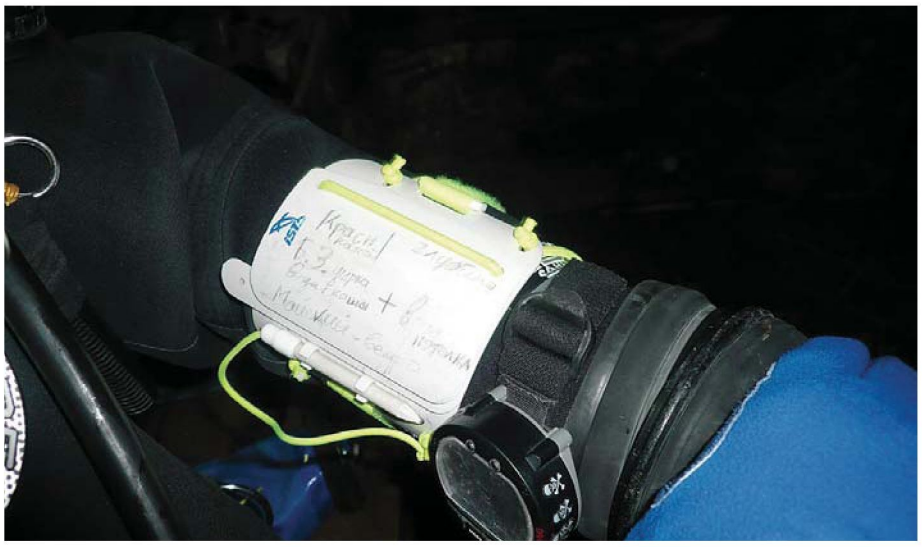

Рис. 4. Компас и планшет для записей в подводных условиях

ского вала Восточно-Европейской платформы, ось которого погружается в северном направлении.

Междуречье, где расположена пещера, относится к гидрогеологической области Уфимской макробрахиантиклинали с умеренным питанием подземных вод атмосферными осадками [4, 11]. Воды в районе Ординской пещеры разгружаются в зонах литогенетических контактов или тектонических нарушений через высокодебитные родники типа воклюзов, субаквально в озера и русла рек, а также в трещины карстующихся пород.

Особенности проведения работ

По некоторым оценкам, лишь около 10% дайверов занимаются техническими погружениями в пещерах. Работа под землей в соединении со спецификой нахождения под водой создает сложные условия как для человека, так и для используемого им снаряжения. В первую очередь это полное отсутствие естественного освещения, невозможность вертикального всплытия на поверхность, влияние водной среды на человека (низкая температура воды, высокое давление, невозможность естественного дыхания). На снаряжение влияет химический состав вод, имеющих в карстовых массивах, как правило, повышенную минерализацию [12]. Все это определяет строгие нормы для проведения безопасных погружений и предъявляет жесткие требования к подбору, разработке и изготовлению снаряжения и оборудования для этого.

Учитывая большой риск для жизни дайверов и сложность подобных исследований, наиболее безопасно и в ряде случаев более эффективно проводить изучение подводных пещер с помощью автоматических подводных аппаратов с дистанционным управлением, снабженных телекамерами и комплексом соответствующей регистрирующей аппаратуры.

Исследователям пещерных лабиринтов необходимо в совершенстве владеть своей плавучестью и уметь ориентироваться в пещерах (для чего, в частности, прокладываются «ходовики» (тонкие шнуры, обычно диаметром 6 мм, которые натягиваются по ходу продвижения дайверов в пещерных лабиринтах).

Во время погружения в пещеры используется стандартная конфигурация снаряжения для технического дайвинга. Безопасность обеспечивается дублированием жизненно важных узлов и механизмов, дополнительной защитой хрупких элементов конструкций, а также применением контрольных и следящих датчиков и приборов за расходом газа и его составом [12]. Существуют специальные конфигурации снаряжения. Например, боковое расположение основных баллонов позволяет легко преодолевать узкие участки пещер. В последнее время наиболее интересным примером нового снаряжения, используемого в пещерах, можно считать ребризеры замкнутого цикла. Их использование позволяет увеличить время нахождения под водой в несколько раз.

Проведение подводных исследований в пещерах России отличается прежде всего условиями погружения. Один из основных факторов — это низкая температура воды [20]. Зимой температура воды в Ординской пещере составляет 7–8°С, а летом она становится ниже на 3–4°С (объяснение более низкой температуры вод пещеры летом см. ниже). Для сравнения: температура воды в пещерах Флориды в США составляет 25°С, а во Франции, Германии и некоторых других европейских странах — 10–12°С). Поэтому в России спелеодайверы обращают особенное внимание на наличие целого комплекса подогрева и утеплителей. Как следствие, это ведет к увеличению веса и размера сухого гидрокостюма.

Из-за низкой температуры уменьшается время погружения (с системой подогрева — до 2 ч, а в обычном костюме — до 30 мин.). Время работ ограничивается также и запасом газовой смеси в баллонах. А поскольку толстые утеплители стесняют движения дайвера (к тому же из-за того, что для баланса плавучести многие используют только сухой гидрокостюм), скорость прохождения заданного маршрута замедляется.

Рис. 5. Карстовый провал на Казаковской горе над Красноярским ходом пещеры

Из-за того что используются только сухие перчатки, система жестикуляции, принятая среди спелеодайверов всего мира, в Ординской пещере зачастую невозможна. Поэтому в ней общение под водой минимизировано. Оповещение партнеров по погружению ведется в основном с помощью световых знаков маршрутного фонаря.

В перчатках также снижается чувствительность пальцев рук, что осложняет работу с системой навигации [1].

Рис. 6. Восходящий источник на дне пещеры и проведение наблюдений за движением воды (фото А. Филимонова)

Методика и результаты исследований

Исследование Ординской пещеры включало комплекс работ под водой и на поверхности земли. Под водой проводилась топосъемка, наблюдение за движением подземных вод, фотографирование, видеосъемка, отбор проб воды, образцов пород и донных отложений. На поверхности проводилось изучение карстовых форм, гидрохимическое опробование поверхностных вод и пр.

Топосъемка пещеры и поверхности

В 2006 году началось картирование подводной части пещеры. Прорисовка конфигурации гротов в подводных условиях требует больших усилий, поэтому некоторые небольшие галереи до сих пор еще не нанесены на план (рис. 3). При исследовании подводных пещер неприменимы методы поверхностной геодезии (триангуляция и аэрофотосъемка). Для подводных работ не существует аналогов точных оптических приборов (теодолита, нивелира).

В США в 1998 году специально для картирования подводных пещер был разработан цифровой трехмерный картопостроитель, который оснащен гидролокатором, датчиками для измерения расстояния до стен и до дна, а также температуры воды [9]. Но эта аппаратура пока является слишком дорогой для массового использования.

При проведении топосъемки Ординской пещеры работали две группы по два человека. Первая группа занималась прокладкой ходовиков и расстановкой пикетов. Вторая проводила замеры азимута, расстояний от одного пикета до другого, а также до стен, сво-

Рис. 7. Отбор проб в галереях Ординской пещеры (фото А. Бизюкина)

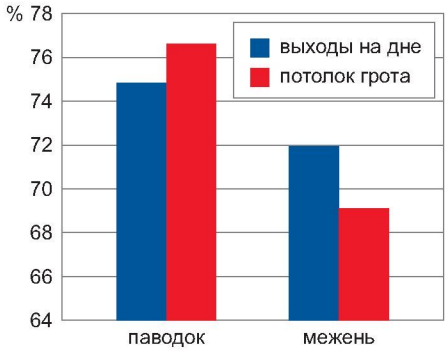

Рис. 8. Насыщение воды сульфатом кальция в Большом зале во время летней межени и весеннего паводка

да и дна пещеры. Глубина фиксировалась по глубиномеру. Азимут измерялся при помощи подводного компаса Suunto (его точность измерения горизонтальных углов составляет 10'', а вертикальных — 2°) (рис. 4). Допустимое отклонение в измерениях азимута принималось равным 2°. Измерение расстояний производилось с помощью рулетки. Подводник, разматывавший рулетку, одновременно производил визуальные наблюдения за профилем дна на участке замеров. Небольшие залы снимались радиально. При топосъемке больших залов замеры производились по периметру. После окончания каждого погружения все данные заносились в компьютер.

Проведение поверхностной съемки карстовых форм и совмещение плана подводных полостей пещеры с планом поверхности позволили выделить наиболее карстоопасные участки. Всего на изученном пространстве площадью около 1 км^2 было зафиксировано 4 провала и 41 воронка. Съемка на поверхности производилась при помощи электронного тахеометра Nikon DTM-352. Площадь карстовых деформаций на участке равна 27,1 тыс. м^2. Площадь поверхностных карстовых форм составила 2,7% от общей площади карстовых деформаций, а их плотность — 45 шт./км^2.

По результатам съемки были рассчитаны абсолютные отметки входа в пещеру и всех литологических пачек иренской свиты, вскрытых в сухой части пещеры. Замеры подошвы и кровли, полученные спелеоподводниками с помощью подводного компьютера Dive Rite со встроенным электронным глубиномером, позволили в дальнейшем вычислить абсолютные отметки основных галерей подводной части пещеры. Использование фондовых материалов структурно-поискового бурения 1969 года (Н.Н. Бачуриной и А.М. Насырова) и рассчитанные отметки пачек уточнили положение пещеры в геологическом разрезе Казаковской горы.

Нивелирование уровней стояния воды в озерах пещеры и в пруду на реке Кунгур, проведенное 23 июля 2009 года, показало, что зеркало пещерных озер располагается на 27 см выше уровня пруда.

Благодаря подводным наблюдениям была установлена взаимосвязь наиболее крупного карстового провала с подземными галереями пещеры. Провал произошел осенью 2008 года, имел диаметр 40 м и глубину до 17 м. Во время возникновения трещин на поверхности Казаковской горы в подводных галереях Красноярского хода наблюдалось замутнение воды.

Размер произошедшего провала говорит об интенсивном развитии карстовых процессов в пределах исследуемой территории. За последние 15 лет это был самый крупный провал в пределах Иренского карстового района (рис. 2, 5).

Наблюдения за движением подземных вод

Анализ видеоматериалов подводной съемки позволил выявить на дне пещеры серию углублений округлого сечения глубиной до 1 м, в которых фиксировалось вертикальное движение воды (рис. 6). В ходе последующих натурных наблюдений были уточнены направление движения воды и другие характеристики восходящих источников. Изучение морфологии пещеры подтвердило вывод о восходящем движении воды. На пересечении галерей Каньон и Основная на своде имеется купол диаметром около 12 м, образованный за счет растворения восходящими потоками. Несколько куполов такого же происхождения, но меньших по диаметру прослеживается также на своде галереи Основная, ход по направлению от сухой части к гроту Большой зал.

Другое направление движения воды в пещере было выявлено в Московском и Свердловском ходах — параллельно течению реки Кунгур. Натурные исследования показали, что происхождение этих галерей, скорее всего, связано с развитием трещин бортового отпора.

Гидрохимическое опробование

Впервые гидрохимическое опробование подземных озер в пещере было проведено в 1996 году [6]. Пробы воды отбирались с глубины до 0,5 м. Было установлено, что подземные воды принадлежат сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевой фации и имеют достаточно высокую минерализацию (до 2400 мг/л).

Проведение спелеодайверами отбора проб в основных галереях подводной части пещеры позволило охарактеризовать состав воды во время весеннего паводка и летней межени на разных высотных уровнях пещеры (рис. 7). Для сравнения авторами были отобраны пробы воды из пруда на реке Кунгур выше и ниже пещеры, а также в Арсеновском и Подзуевском карстовых источниках, расположенных неподалеку от пещеры.

В пробах, отобранных из зон выхода подземных вод Арсеновского источника и в Большом зале подводной части Ординской пещеры, было выявлено относительно высокое содержание гидрокарбонатов (до 317 мг/л), что свидетельствует о поступлении вод из известняков и доломитов филипповского горизонта. Высокая минерализация и преобладание сульфат-ионов могут являться результатом смешения вод филипповского горизонта с минерализованными водами иренского горизонта.

Подводные исследования, отбор проб в подводных галереях на разных высотах и анализ геологической и гидрогеологической информации позволили установить, что в формировании Ординской пещеры принимают участие воды различного происхождения:

- воды из атмосферных осадков, которые фильтруются в зоне аэрации, сложенной неоген-четвертичными отложениями и сульфатно-карбонатными породами иренского горизонта (наиболее интенсивное поступление таких вод происходит в период снеготаяния и в теплое время года);
- воды, разгружающиеся с Уфимского плато в массив Казаковской горы, в том числе в виде восходящих источников на дне гротов в подводной части пещеры (такая разгрузка происходит достаточно постоянно в течение всего года);
- подземные воды иренского водоносного горизонта, приток которых происходит с западной части карстового массива;
- воды из пруда на реке Кунгур, поступающие во время паводков.

По результатам химических анализов была рассчитана растворяющая способность воды по отношению к гипсу (авторами использовалась методика Скилмена — МакДональда — Стиффа, эффективность которой была показана в работах ОАО «БашНИПИнефть» [19]). Было установлено, что

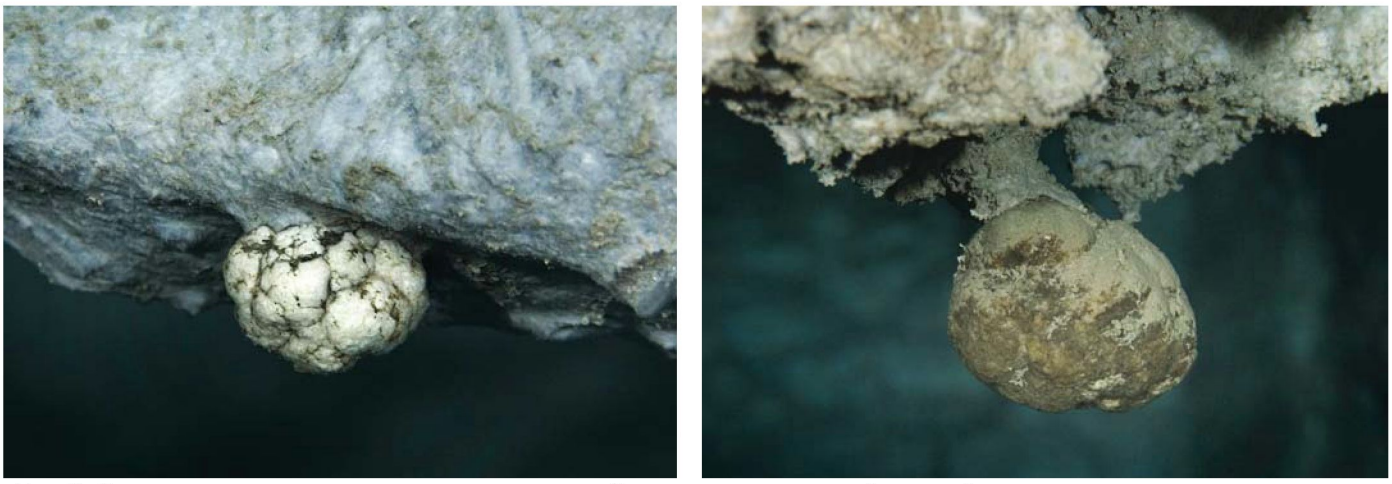

Рис. 9. Конкреции говлита, свисающие со свода подводной части пещеры на тонкой гипсовой ножке, отпрепарированные и покрытые с поверхности кальцитовой корочкой (фото М. Юсуповой, справа)

концентрация сульфата кальция в воде из подводных галерей далека от насыщения и колеблется от 68,8% в Московском ходе до 76,6% в Большом зале), поэтому во всех частях пещеры вода способна растворять сульфат кальция.

Для сравнения процент насыщения сульфатом кальция был рассчитан и для воды в пруду на реке Кунгур: выше пещеры он составил 63,1%, а ниже — 65,1%. Более низкий процент насыщения в Московском ходе по сравнению с другими галереями пещеры также может свидетельствовать о взаимосвязи этой галереи с прудом на реке Кунгур.

Сопоставление состава воды в Большом зале на разных высотах в паводковый и меженный периоды не показало существенных различий в общей минерализации. Однако по проценту насыщения солями сульфата кальция видно, что весной насыщение воды идет снизу вверх от зоны разгрузки к кровле, а летом — наоборот (рис. 8).

В паводок воды более насыщены сульфатом кальция за счет поступления атмосферных и талых вод, фильтрующихся через сульфатный массив, и отставания поступления в пещеру паводковых вод из филипповского горизонта. В межень же доля атмосферного питания снижается, дефицит насыщения воды сульфатом кальция увеличивается и его распределение по вертикали приобретает обратный характер. О сходном характере формирования вод пещеры говорит в том числе повышение их температуры в зимний период до 7–8°С и снижение ее летом до 4°С.

Литолого-минералогические исследования

Литолого-минералогические исследования были начаты в сухой части пещеры в 2004 году. Сначала исследовались состав пород и льда [10]. Позднее было проведено изучение зависимости поведения обломочных отложений и новообразованных минеральных парагенезисов от микроклиматической обстановки в пещере [4].

В сухой части Ординской пещеры были зафиксированы различные морфологические типы гипса, в том числе

Рис. 10. Общий вид конкреций говлита, найденных в Ординской пещере

и редкие криогенные, свидетельствовавшие о значительных колебаниях температуры. Было установлено, что на трансформацию пещерных отложений влияют микроклиматический режим карстовой полости (характер движения воздуха, влажностный и тепловой режим) и формы нахождения воды (конденсатная пленка, ванночки, водонасыщенные глины, подземные озера) и льда (сезонного и многолетнего).

Периодическая фото- и видеофиксация одних и тех же участков Ординской пещеры позволила проследить увеличение диаметра отверстий восходящих источников и растворение примыкающих обломочных отложений, гидратацию вдоль границ ангидритовых блоков, регенерацию отдельных крупных кристаллов гипса, избирательное растворение и препарирование менее растворимых включений.

Просмотр большого количества фото- и видеоматериалов в камеральных условиях позволил обнаружить необычные минеральные образования [9]. По нашим просьбам в гротах Майский, Челябинский, Московский и др. пермские спелеодайверы отобрали отпрепарированные растворением конкреции, оказавшиеся говлитом (боросиликатом кальция $Ca_2B_5SiO_9$) (рис. 9, 10). При взаимодействии с пещерной водой эти конкреции с поверхности замещаются скелетными агрегатами кальцита [13, 18]. Это первая находка говлита на Урале.

Заключение

Фактический материал, полученный при помощи методов спелеоподводных исследований, существенно дополнил результаты геологического изучения Ординской пещеры. Благодаря проведенной подводной видеосъемке стало возможным изучение специалистами морфогенетических элементов галерей пещеры и определение их принадлежности к разным гидродинамическим зонам.

Гидрохимическое опробование на разной глубине и расчет растворяющей способности воды показали, что воды пещеры агрессивны по отношению к вмещающим породам, причем весной насыщение воды идет снизу вверх от восходящих источников на дне к кровле грота, а летом — наоборот. Вследствие этого в пещерном массиве наблюдается активное растворение пород, обрушение сводов и соответствующее формирование провалов на поверхности.

Несмотря на длительную историю изучения отложений пермского периода на территории Пермского края, благодаря подводным исследованиям были получены принципиально новые данные о минеральных образованиях. Опыт совместной работы со спелеодайверами наглядно показал несомненную важность таких исследований.

Если в подводной части Ординской пещеры будут организованы постоянные наблюдения, то в дальнейшем она сможет стать полигоном для изучения карстовых процессов (прежде всего это касается зоны полного водонасыщения, наименее доступной для исследований в подавляющем большинстве карстовых массивов).

Авторы выражают благодарность А.А. Горбунову, А.В. Щукину и Д.А. Михалеву за содействие в организации и проведении полевых работ; Д.В. Осипову за предоставленные материалы топографической съемки подводной части пещеры; А. Филимонову, А. Бизюкину и М. Юсуповой за предоставленные фото- и видеоматериалы.

Настоящая работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 р_урал_а.

Список литературы

1. *Горбунов А.А.* Подготовка пещерных дайверов в России // Пещеры: Сб. науч. тр. — Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2009. Вып. 32. С. 144–150.

2. *Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г.* Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1992. 200 с.

3. *Дублянский В.Н.* Основные задачи инженерной спелеологии // Инженерная геология. 1980. С. 3–13.

4. *Кадебская О.И., Максимович Н.Г.* Геологические, гидрогеологические и гидрогеохимические предпосылки формирования Ординской пещеры // Пещеры: Сб. науч. тр. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2009. Вып. 32. С. 12–21.

5. *Лавров И.А.* Ординская пещера // Пещеры: Сб. науч. тр. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1999. С. 47–52.

6. *Лаврова Н.В., Кадебская О.И.* Карстологический очерк // Геологические памятники Пермского края: Энциклопедия / под общ. ред. И.И. Чайковского. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2009. С. 358–367.

7. *Максимович Г.А.* Основы карстоведения. Т. 1. Пермь: Кн. изд-во, 1963. 444 с.

8. *Максимович Г.А.* Пещеры гипсового карста // Пещеры. Пермь, 1969. Вып. 7(8). С. 5–29.

9. *Максимович Н.Г, Максимович Е.Г, Лавров И.А.* Ординская пещера. Длиннейшая подводная пещера России. Пермь, 2006. 64 с.

10. *Максимович Н.Г.* Минералогия Ординской пещеры // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Сб. науч. ст. Научных чтений памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, 2008. Вып. 11. С. 72–77.

11. *Михайлов Г.К., Оборин А.А.* Подземная кладовая пресных вод Сылвенского кряжа: Монография. Пермь: УрО РАН, Перм. гос. ун-т., 2006. 154 с.

12. Организация и проведение подводных погружений в пещерах: Методические рекомендации. Москва: Центральное рекламно-информационное бюро «Турист», 1986. 74 с.

13. *Потапов С.С. Паршина Н.В.* Говлит из Ординской подводной пещеры в Пермском крае — первая находка на Урале // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Сб. науч. ст. Научных чтений памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, 2010. Вып. 13. С. 83–91.

14. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: ПНИИИС, 2000. 93 с.

15. ТСН 11-301-2004. Инженерно-геологические изыскания на закарстованных территориях Пермской области. Пермь, 2005. 118 с.

16. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород: Администрация Нижегородской обл., 1999. 72 с.

17. ТСН 302-50-95 РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях. Уфа: Госстрой Республики Башкортостан, 1996. 44 с.

18. *Чайковский И.И., Чиркова Е.П., Кадебская О.И., Назарова У.В., Сиразетдинов А.Т.* Бораты в эвапоритовых толщах Прикамья // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Сб. науч. ст. Научных чтений памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, 2010. Вып. 13. С. 91–98.

19. *Яркеева Н.Р.* Оценка равновесной насыщенности попутно добываемых вод сульфатом кальция в зависимости от их суммарной минерализации // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: Сб. науч. тр. / под ред. М.А. Токарева и др. Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. С. 168–174.

20. *Farr M.* In the Deep, Deep Freeze // Descent. 2006. № 192. P. 20–23.