

УДК 551.435.84 (470.53)

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРСТОВОЙ ДЕНУДАЦИИ
НА ПРИМЕРЕ КУНГУРСКОЙ ПЕЩЕРЫ В ПРЕДУРАЛЬЕ**© 2020 г. Н. В. Лаврова^{1,2*}¹ Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия² Кунгурская лаборатория-стационар, Кунгур, Россия

*E-mail: nlavrova08@mail.ru

Поступила в редакцию 28.11.2017 г.

После доработки 06.10.2018 г.

Принята к публикации 18.12.2018 г.

С 1985 г. в Кунгурской пещере ведутся эксперименты по скорости растворения вмещающих пород и наблюдения за гидрогеохимическими процессами и морфометрическими показателями спелеосистемы. Согласно многолетним данным скорость развития современного карста и спелеогенеза для массива в целом – около 20 м^3 в год на 1 км^2 . По расчетам 2013 г. скорость растворения гипсовых блоков, заложенных в озерах, колеблется от 0.026 до 0.039 г/год. Абсолютные отметки наблюдательных станций, оборудованных в опорных колоннах самого протяженного грота пещеры – Длинный, постоянно снижаются с момента начала замеров (2013 г.). На остальных станциях они находятся в пределах ошибки замера. В районах развития сульфатного карста необходимо учитывать относительно высокую скорость процесса растворения (несколько лет или десятилетий), соизмеримую со сроком службы сооружений. Процессы, происходящие на поверхности и внутри карстовых массивов в настоящее время, влияют на ход развития опасных геологических явлений, в т.ч. провалов, а также паводков.

Ключевые слова: сульфатный карст, скорость растворения, спелеосистема

DOI: 10.31857/S0435428120010083

Количественные показатели карстовой денудации, рассчитанные для различных регионов развития растворимых пород, являются обобщенными величинами. Однако они позволяют более или менее точно определить скорость денудации, а также дают возможность сопоставить темпы денудации участков, расположенных в различных геолого-геоморфологических условиях [1]. Балансовый, карстово-геохимический, карстово-гидрометрический методы подсчета не учитывают изменения средних величин жесткости и дебита во времени. Постоянный доступ к водоносному горизонту в условиях спелеосистемы Кунгурской пещеры в течение длительного времени позволяет наблюдать преобразования подземного ландшафта.

Кунгурская Ледяная пещера располагается в 90 км на юго-восток от г. Перми на северо-восточной окраине г. Кунгура в долине р. Сылва. Район находится в пределах денудационной равнины Среднего Предуралья. Пещера заложена в толще переслаивающихся карбонатных и сульфатных пород, представленных ангидритами, гипсо-ангидритами, гипсами и доломитами (рис. 1, 2). Основные морфометрические показатели спелеосистемы: протяженность до 5.7 км, средняя ширина – 11.4 м, средняя высота – 2.8 м, амплитуда – 32 м, площадь – 65.0 тыс. м^2 , объем – 206.0 тыс. м^3 , коэффициент Корбеля (объем призмы, в которую вписана пещера) – 11.7, коэффициент связности (отношение числа пересечений к площади полости) – 0.0005, что свидетельствует о значительной разветвленности [2].

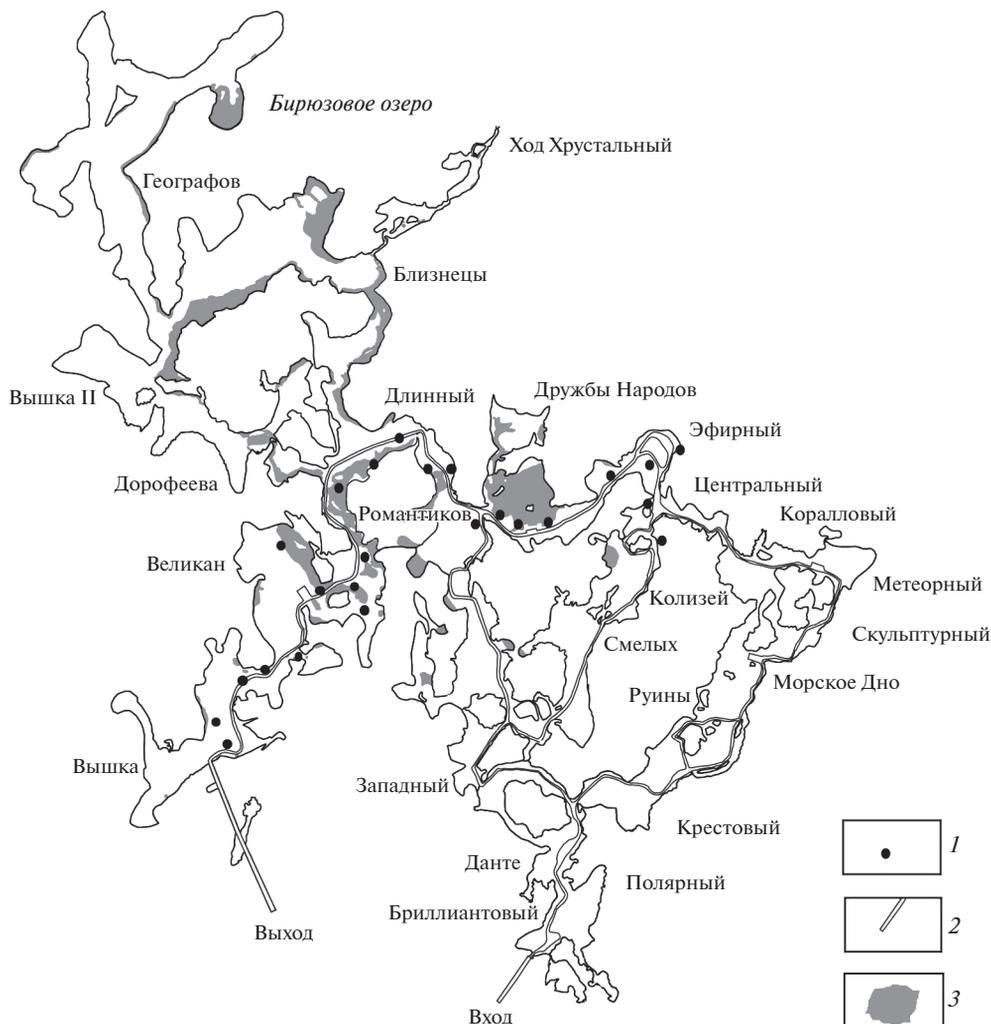


Рис. 1. План Кунгурской пещеры с наблюдательными станциями за процессами денудации.

1 – наблюдательные станции, 2 – экскурсионная тропа, 3 – подземные озера.

При затоплении пещеры паводковыми вода р. Сылвы, карстовый водоносный горизонт поднимается в среднем на 0.8 м. В 2016 г. подъем составил 2.3 м, при этом в реке он был максимальным за последние двадцать лет – 6.5 м.

С учетом средней минерализации карстовых вод на выходе из карстующегося массива – 1.85 г/л и внутри – 2.0 и более г/л, а также объема паводковых вод в пещере приблизительно 10000 м^3 , вынос сульфатных пород составит около 8 м^3 ; в пересчете на 1 км^2 около 20 м^3 в год [3].

Скорость растворения стен полости должна достигать в этом случае 2 мм/год. Данная величина в условиях подземных водоемов достаточно большая и не согласуется с абсолютным возрастом пещеры в 10000 лет, определенного по возрасту синхронной первой надпойменной террасы р. Сылвы.

В 1983 г. в Кунгурской пещере начался эксперимент по изучению относительной скорости растворения образцов гипсо-ангидритовых пород – плиток ($5 \times 5 \times 1.5 \text{ см}$).

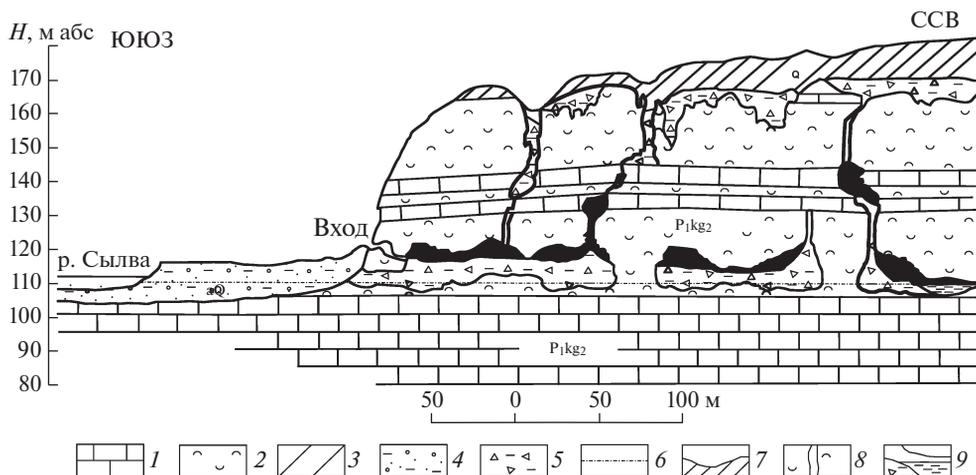


Рис. 2. Схематический разрез Ледяной горы и Кунгурской пещеры [1].

1 – известняки и доломиты; 2 – гипсы и ангидриты; *отложения*: 3 – глинистые древней террасы, 4 – песчано-глинистые молодых террас, 5 – крупнообломочные карстово-обвалы; 6 – уровень подземных вод; 7 – карстовые впадины на Ледяной горе; 8 – вертикальные каналы, трубы; 9 – подземные пустоты.

Уменьшение веса всех образцов за период наблюдений (838 сут) относительно первоначального, позволило определить, что скорость денудации поверхности образцов составляет $106.5\text{--}194.8\text{ мг/см}^2\text{/сут}$ [4]. В 1985 г. Е.П. Дорофеев – организатор и бессменный наблюдатель системы мониторинга в пещере с 1952 по 1992 г. – вместо плиток использовал сульфатные блоки различной формы в пещерных озерах и репера в стенах гротов. Согласно расчетам, произведенным в 2013 г., скорость растворения гипсовых блоков колеблется от 0.026 до 0.039 г/год [3]. В 2001 г. был проведен анализ смещения швеллерных балок, установленных на пути движения подземных вод на выходе из пещеры. Расчеты позволили оценить годовой вынос растворенного вещества – 83 тыс. г/сут [2].

Большую часть пещеры занимают обвалы отложения. В середине 70-х годов прошлого века при запуске флюоресцеина удалось проследить направление магистрального потока поступающих в пещеру речных вод, а также его ответвлений. В гроте Длинный скорость течения воды изменялась от 4.7 до 5.3 м/час [5]. При спаде уровня паводковых вод поток распадается на ряд озер, русло потока на отдельных участках обнажается. Можно наблюдать проседания, а в отдельных случаях провалы, что свидетельствует о денудационных процессах, происходящих ниже уровня существующих пустот в спелеосистеме.

В 2013 г. в русле прослеженного подземного водотока оборудованы наблюдательные станции, привязанные к пунктам опорного маркшейдерского обоснования пещеры. Сеть состоит из основных пунктов и дополнительных съемочных точек в целиках для однозначного определения положения станций. Проведен нулевой цикл измерений. В течение 2013–2014 гг. замеры проводились дважды в год с учетом фаз водности в пещере (паводок – межень), в дальнейшем – 1 раз/год. В настоящее время изменения абсолютных отметок наблюдательных станций находятся в пределах ошибки замера. Исключение составляют две станции, оборудованные в опорных колоннах самого протяженного грота пещеры – Длинный, где с момента начала замеров отмечается постоянное снижение абсолютных отметок.

Процессы, происходящие на поверхности и внутри карстовых массивов в настоящее время, влияют на ход развития опасных геологических явлений, в т.ч. провалов, а

также паводков. Разработка методов изучения скорости карстовой денудации в конкретных условиях — надежная основа решения прогнозно-оценочных проблем, проектирования и расчета широкого спектра геологических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. Иркутск: Изд. Ирк. ун-та. 1986. 170 с.
2. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / Под ред. В.Н. Дублянского. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 376 с.
3. Казанцева А.С. Исследование растворения сульфатных пород подземными водами в Кунгурской Ледяной пещере // Пещеры / сб. науч. тр. Естеств.-науч. ин-та Перм. гос. нац. иссл. ун-та. 2014. Вып. 37. С. 9–15.
4. Горбунова К.А., Дорофеев Е.П., Максимович Н.Г., Минькевич И.И. Исследование процесса растворения гипсо-ангидритов в условиях Кунгурской пещеры // Пещеры. Методика изучения / Межвуз. сб. науч. тр. Перм. ун-та. 1986. Вып. 20. С. 39–47.
5. Дорофеев Е.П. Связь водоемов Кунгурской пещеры с рекой Сылвой // Состояние и задачи карстово-спелеологических исследований / Тез. докл. Всесоюз. совещ. М.: 1975. С. 85–87.

Quantitative Characteristics of Karstic Denudation: the Kungur Cave in cis-ural

N. V. Lavrova^{a,b,#}

^a Mining Institute of the Ural Branch of RAS, Perm, Russia

^b Kungur laboratory, Kungur, Russia

[#]E-mail: nlavrova08@mail.ru

Since 1985, experiments have been conducted in the Kungur cave on the rate of dissolution of the host rocks and observations on the hydrogeochemical processes and morphometric parameters of the spelecosystem. According to the long-term data, the rate of dissolution for the karst massif as a whole is about 20 m³ per year per 1 km². In 2013, the dissolution rate of gypsum blocks embedded in lakes ranged from 0.026 to 0.039 g/year. The elevation marks of the observation stations equipped in the supporting columns of the longest cavern cave — Dlinnyi, have been constantly decreasing since the beginning of the measurements (2013). At the remaining stations, they are within the measurement error. In areas of development of sulphate karst, it is necessary to take into account the relatively high rate of dissolution process (several years or decades), commensurate with the service life of the engineering structures. The processes occurring on the surface and inside the karst massifs at present affect the course of the development of dangerous geological phenomena, including failures and floods.

Keywords: sulfate karst, dissolution rate of karst denudation, speleothem

REFERENCES

1. Pecherkin A.I. *Geodinamika sul'fatnogo karsta* (Geodynamics of sulphate karst). Irkutsk: Irk. Un-t (Publ.), 1986. 170 p.
2. *Kungurskaya Ledyanaya peshchera: opyt rezhimnykh nabludenii* (Kungur Ice cave: the experience of regime observations). V.N. Dubljanskij. Ed. Ekaterinburg: UrO RAN (Publ.), 2005. 376 p.
3. Kazanceva A.S. Investigation of the dissolution of sulphate rocks groundwater in Kungur Ice cave, in *Peschery: sb. nauch. tr.* (Caves. Collection of scientific papers). Perm: Estestvennonauch. in-t Perm. Gos. Nac. Issl. Un-ta (Publ.), 2014. Iss. 37. P. 9–15.
4. Gorbunova K.A., Dorofeev E.P., Maksimovich N.G., and Min'kevich I.I. Study of the process of dissolution of gypsum intercalation in terms of the Kungur caves, in *Peschery. Metodika izucheniya* (Caves. Methods of research). Collection of scientific papers. Perm: Izd-vo Perm. Un-ta (Publ.), 1986. Iss. 20. P. 39–47.
5. Dorofeev E.P. The connection between the waters of the Kungur cave with the river Sylva, in *Sostoyanie i zadachi karstovo-speleologicheskikh issledovaniy* (The state and objectives of karst-speleological studies.). Proc. of All-Union Conf. Moscow: 1975. P. 85–87.