

## О НЕОБХОДИМОСТИ МОНИТОРИНГА БЛАГОУСТРОЕННЫХ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР С ЦЕЛЬЮ ИХ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

(НА ПРИМЕРЕ НОВОАФОНСКОЙ И ЦХАЛТУБСКОЙ ПЕЩЕР ГРУЗИИ)

О.А. Ланчава <sup>1</sup>, К.Д. Цикаришвили <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Горный Институт им. Г.А.Цулукидзе, Грузинский Технический Университет;

<sup>2</sup> Институт Географии им. Вахушти Багратиони, Тбилисский Государственный Университет

Опыт показывает, что климатический режим благоустроенных пещер, которые используются в качестве туристических объектов, существенно меняется: нарушается интенсивность естественной вентиляции, повышается среднегодовая температура и уменьшается относительная влажность пещерного воздуха, ухудшается состав воздуха. Свидетельством отмеченного является опыт подготовки к эксплуатации Новоафонской и Цхалтубской карстовых пещер и опыт их эксплуатации. В обеих пещерах наблюдаются изменения климатических параметров пещерного воздуха и возмущения физических полей окружающего горного массива, что проявляется в результате осушения массива и появления трещин высыхания на внутренней поверхности пещеры. Часть этих изменений можно было бы предотвратить при правильном выборе режима подготовки и эксплуатации пещер. Безусловно, что сооружение водоотводящей горной выработки способствует разгрузке горного массива от грунтовых вод и будет вызывать общее его осушение, но с другой стороны, можно искусственно повышать относительную влажность пещерного воздуха и тем самым уменьшить вредное влияние общего осушения на внутренней поверхности пещеры и пещерных образований.

**Новоафонская пещера.** Депрессионные съемки, проведенные до благоустройства пещеры, показывают, что естественная вентиляция осуществлялась с помощью естественной шахты, а также многочисленных тектонических трещин и каналов. Наблюдаются контрасты температуры и давления воздуха между дневной поверхностью и внутри пещеры, что вызывает интенсивную вентиляцию. Максимум разницы в давлении доходит до 1000 Па (рис. 1). Направление естественного потока следующее: летом - в пещеру, зимой - из пещеры.

Активная циркуляция воздуха до благоустройства пещеры, главным образом, происходила с помощью естественной шахты. В сифонной дыре (0,5 X 0,8 м), связующей вертикальную и горизонтальную системы, в теплый период года, наблюдалось нисходящее, а в холодный период - восходящее движение воздуха. Скорость воздушного потока (2,5 м/с) практически оставалась постоянной в течение суток. После эксплуатации, в данной дыре, имеет место чередование штиля и движения воздуха (рис. 2).

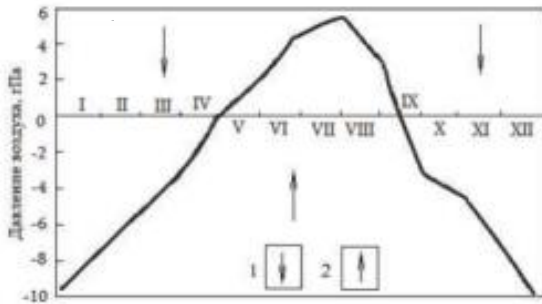


Рис. 1. Годовой ход естественной тяги воздуха в Новоафонской пещере (1975-1985 гг)

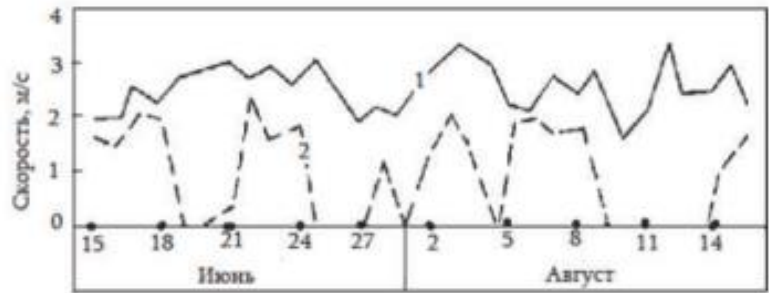


Рис. 2. Скорость воздушного потока в сифонной дыре:  
1. До начала эксплуатации (1974);  
2. После начала эксплуатации (1976)

На основе многочисленных стационарных наблюдений, выполненных в течение 1970-1988 гг., можно утверждать, что на воздухообмен между атмосферой и пещерным пространством и на циркуляцию пещерного воздуха заметное влияние оказывает поршневой эффект движения туристического поезда.

До проходки транспортного тоннеля в Иверской горе метеорологические параметры пещерной системы (температура, относительная влажность и давление воздуха) характеризовались незначительным сезонным и суточным колебанием. В частности, температура пещерного воздуха существенно менялась лишь в вертикальной проекции пещеры. Разница между температурами зимой и летом здесь достигала 4-6 °С.

В горизонтальной проекции пещеры, колебание или изменение температуры не наблюдалось. Практически мало изменялась относительная влажность воздуха. Для любого сезона температура пещерного воздуха менялась в пределах 11,8-12,8 °С, а относительная влажность 93-98 % (Таташидзе и др., 1968).

После подготовки пещеры для туристических целей и начала ее эксплуатации был нарушен стабильный тепловой и влажностный режим, установленный в продолжительном геологическом периоде. Соединение подземных залов с искусственным транспортным тоннелем пропуск через пещеру многочисленных экскурсантов вызвали повышение температуры на 2 °С, а уменьшение относительной влажности – на 5-6 %. Кроме того, во время выполнения работ по благоустройству пещеры, применение пневматического оборудования, работающего с помощью двигателей внутреннего сгорания, вызвало повышение содержания двуоксида углерода (до 0,5 %), а источник питания туристического поезда «обогастил» воздух водородом (до 0,4 %) и парами серной кислоты.

Под влиянием мощных прожекторов освещения на отдельных участках пещеры появились беспигментные растения, а также образовались мшистые поверхности на стенках пещеры и пещерных образований. С целью анализа влияния туристических групп на микроклимат пещеры, на высоте 2 м от почвы (у смотровой площадки «Тетри мта»), с помощью показаний максимального термометра, было установлено, что температура воздуха в течение 10 минут увеличилась на 0,8 °С.

До начала эксплуатации пещеры, амплитуда суточного изменения температуры составляла 0,1-0,2 °С, а в условиях интенсивной эксплуатации она увеличилась до 1,5 °С. В дневные часы, в течении рабочего дня, относительная влажность воздуха уменьшилась на 56 %. После 21-23 часов ночи, пещерная атмосфера возвращалась к обычному для нее ритму с точки зрения релаксации температурных и влажностных полей в пещерном воздухе (рис. 3).

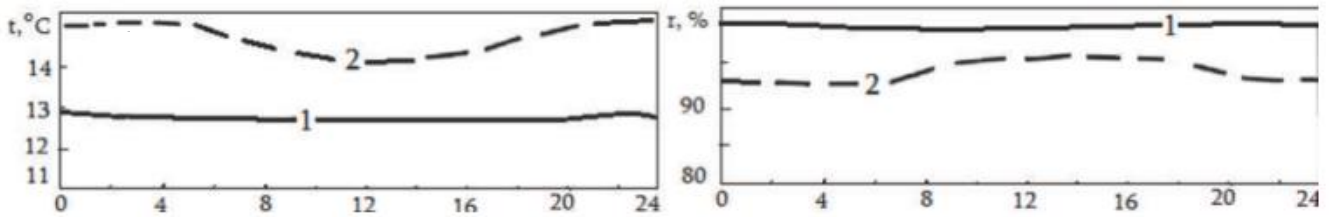


Рис. 3. Суточный ход температуры и относительной влажности пещерного воздуха:  
1. До начала эксплуатации; 2. После начала эксплуатации

В суточном ходе температуры пещерного воздуха максимум наблюдался в полночь (летом), а минимум в полдень (зимой), что указывает на определенную инерцию проявления теплофизических процессов в подземном пространстве.

Амплитуда годового изменения температуры составляла 5-6 °С. Абсолютный минимум температуры (10,8 °С) отмечался в холодный период года (Февраль), абсолютный максимум (16,0 °С) – летом (Август).

Следует отметить, что интенсивная эксплуатация Новоафонской пещеры вызвала существенное изменение климатических параметров пещерного воздуха: температура в среднем увеличилась на 1 градус (максимальное увеличение до 4 °С наблюдалось в зале «Тбилиси», где показатель температуры воздуха достиг 16,5 °С), относительная влажность воздуха уменьшалась в среднем до 8 %. Существенные возмущения были наблюдаемы в температурном и влажностном полях окружающего горного массива, что проявилось в образовании новых трещин высыхания внутри пещеры.

Наблюдаемые изменения микроклимата пещеры являются результатом неправильной эксплуатации, что вызвано неучетом экологических возможностей природы, в частности пещеры, и в чрезмерной нагрузке пещеры экскурсантами в увязке сооружения водоотводящей и транспортных тоннелей, вызвавшие общее осушение окружающего горного массива и изменение естественной аэродинамики пещеры.

Таким образом, пещера, характеризующаяся стабильным климатическим режимом, после сооружения транспортных и дренажных тоннелей, превратилась в динамическую полость, которая оказывает влияние на физические поля окружающего породного массива. В результате отмеченного, усилились процессы истощения, что способствовало: появлению трещин высыхания, осушению поверхности самой пещеры и пещерных образований, началу камнепада со стен и со сводовой части пещеры.

**Цхалгубская пещера.** Основной причиной возникновения воздушного потока в пещере является разница в плотности атмосферного и пещерного воздуха. Для вычисления величины естественной тяги были использованы результаты спелеоклиматических сезонных и суточных наблюдений. Было установлено, что давление воздуха на поверхности и под землей претерпевает синхронные изменения. В соответствующем периоде давление атмосферного и пещерного воздуха менялось в диапазоне 99,575-100,108 кПа и 98,375-99,750 кПа. Амплитуды суточного колебания давления на поверхности и в пещере незначительно отличаются друг от друга и соответственно составляют 170-200 Па и 100-160 Па. Амплитуды декадных колебаний же практически совпадают и составляют примерно 500-600 Па.

По длине пещеры давление воздуха изменяется по следующей закономерности: начиная со входного отверстия, барометрическое давление постепенно уменьшается и минимального значения достигает гипсометрически в высоко расположенных залах, а затем неуклонно повышается.

Максимальная величина давления зафиксирована в «Зале альпинистов», который занимает самую низкую часть пещеры. По длине разница атмосферного давления примерно составляет 400 Па.

Следует отметить, что на каждый 8,5 м столба пещерного воздуха атмосферное давление изменяется на 100 Па и с помощью барометрического градиента возможно получение достоверных результатов в теплофизических расчетах.

Распределение температуры воздуха по длине пещеры неодинаковое. Начальный отрезок и первый зал как бы изолированы от остальной части пещеры. В этих местах наблюдается суточное и сезонное колебания температуры воздуха, а амплитуда соответственно составляет 1,5 и 4,5 °С.

Остальная часть пещеры до сифонных озер, слабо проветривается, вследствие чего, температура воздуха сравнительно высокая (14,0-14,2 °С) и суточное колебание не наблюдается. Сезонное же колебание температуры пещерного воздуха на этом участке, длина которого составляет около 650 м, наблюдается, а амплитуда составляет 0,4 °С (рис. 4).

У начала подземной реки температура воздуха уменьшается до 13,6 °С и сохраняется примерно на расстоянии 100 м, затем температура повышается и по всей длине трассы остается в пределах 14,0 °С. По-видимому здесь на формирование температуры оказывает влияние подземный водный поток, который протекает до конца экскурсионной трассы. Температура воды постоянная независимо от сезона и составляет 12 °С. Дебит воды меняется от 60 л/с (Август) до 800 л/с (Апрель).

Гипсометрически высоко расположенные залы «Цхалтубо» и «Кутаиси» являются исключением от общих правил. Здесь пещерный воздух характеризуется довольно высокой температурой (около 14,8 °С), которая практически не претерпевает сезонных колебаний. Таким образом, за исключением входного участка и первого зала, суточное колебание температуры пещерного воздуха практически не наблюдается (рис. 5).

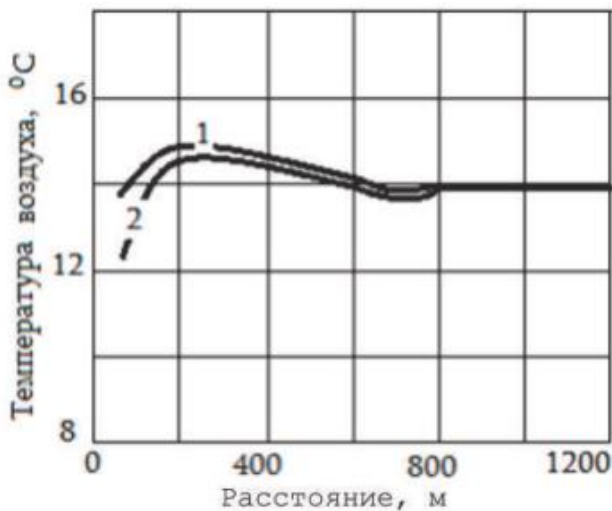


Рис. 4. Ход температуры воздуха в Цхалтубской пещере вдоль экскурсионной трассы: 1 - летом; 2 - зимой

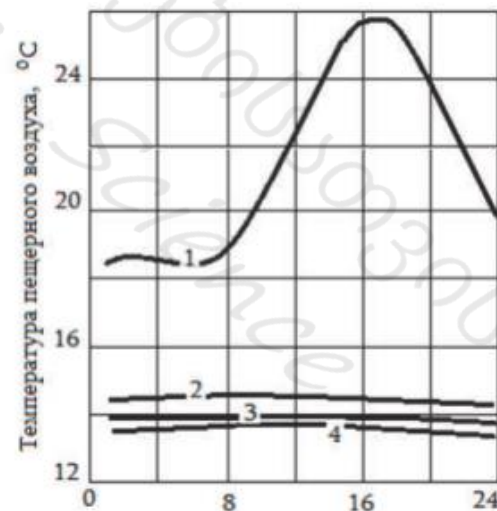


Рис. 5. Суточный ход температуры в Цхалтубской пещере: 1 – поверхность; 2 – зал «Кутаиси»; 3 – «Зал альпинистов»; 4 – подземный пляж

Свидетельством слабого воздухообмена являются также установленные наблюдениями факты: автономность температуры воздуха в отдельных залах, асимптотическое приближение температуры воздуха к температуре породного массива и практическое отсутствие сезонного колебания температуры пещерного воздуха.

В зависимости от сезона, в пещере происходит либо испарение, либо конденсация водяных паров. Однако относительная влажность пещерного воздуха остается в диапазоне 97-99 %, что в среднем на 40 % больше относительной влажности поверхностного воздуха.

Как и в случае температуры, суточное колебание относительной влажности наблюдалось только во входной части пещеры (рис. 6). В то время как атмосферный воздух характеризуется отчетливой изменчивостью этого параметра, амплитуда составляет примерно 12 %.

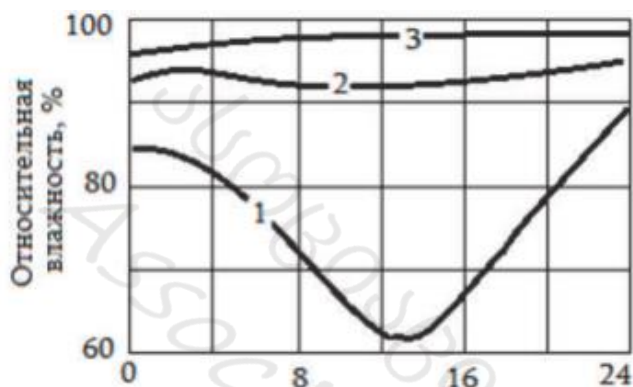


Рис. 7. Суточный ход относительной влажности в Цхалтубской пещере: 1 – поверхность; 2 – входной участок; 3 – подземный пляж

двуоксида углерода (0,5 % по объему), что не выходит за пределы, предусмотренные нормами для подземных сооружений.

Расчетами определены оптимальное и максимальное числа экскурсантов, которых одновременно можно допустить в пещеру, по результатам отмеченного составлена табл. 1.

Таблица 1

Число экскурсантов в Цхалтубской пещере по месяцам года

Месяцы года	Оптимальное число экскурсантов, чел.	Максимальное число экскурсантов, чел.
Январь	7068	10780
Февраль	6216	9240
Март	5580	8556
Апрель	2700	4278
Май	4500	7020
Июнь	5760	9000
Июль	6882	10230
Август	7068	10788
Сентябрь	5760	9000
Октябрь	2976	4650
Ноябрь	3780	5760
Декабрь	6138	9486
Годовая	64428	98796

Количество одновременно допускаемых людей в пещеру определено на основе достаточности расхода пещерного воздуха для безопасности дыхания людей. Следует отметить, что тепло, выделенное людьми и освещением, полностью передается пещерному воздуху и вызывает повышение его



температуры. Расчетами установлено, к концу 8-часового рабочего дня, температура пещерного воздуха будет повышаться на 4,5-5,0 °С по всей длине пещеры. За остальной период суток данное приращение релаксируется и будет оставаться только фоновое повышение температуры в диапазоне около 0,2-0,4 °С в течение месяца. После длительной эксплуатации температурный режим пещеры существенно будет меняться, так как природа не сможет нейтрализовать отмеченный фон без вмешательства.

В пещере уже нарушен естественный фон влагосодержания горного массива, что вызвано сооружением водоотводящего тоннеля. Относительная влажность воздуха претерпела не очень существенные изменения, однако в наличии понижение уровня грунтовых вод, общее осушение полости и появление трещин высыхания на внутренней поверхности пещеры. Отмеченные обстоятельства в ближайшем будущем вызовут и существенное уменьшение относительной влажности пещерного воздуха.

Следует отметить, что с точки зрения экологической вместимости пещеры количество экскурсантов, представленное в таблице 1, необходимо примерно в 8 раз уменьшить. В таком случае возмущения в физических полях в пещере и в окружающем горном массиве будут восстановлены силами природы. С этой точки зрения вопрос вовсе не был поставлен на повестку дня, т.к. в таком случае пещера не окупила бы затрат, расходуемых на ее благоустройство.

Для сохранения спелеоклиматического режима пещеры необходимы сохранение естественного характера движения воздушного потока и ликвидация приращения температуры и дефицита относительной влажности воздуха, а также сохранение температурного и влажностного полей окружающего горного массива.

Рекомендуется с помощью вод подземной речки кондиционировать пещерный воздух. В результате отмеченного, будет уменьшаться температура воздуха и увеличиваться относительная влажность, что будет способствовать также сохранению естественного фона температурного и влажностного полей окружающего горного массива.

Вода должна подаваться при помощи полостей в перилах ограждения смотровых площадей под давлением около 300 кПа. Распыление воды в пещерный воздух должно произойти после того, как экскурсионная группа будет перемещена на другую смотровую площадку. После определенного промежутка времени (5-8 мин) форсунки автоматически будут отключаться. Вместе с тем четные форсунки относительно оси движения воздуха должны быть наклонены под углом 30°, а нечетные должны иметь противоположную ориентацию, с той целью, чтобы они друг друга компенсировали с точки зрения аэродинамики воздушного потока.

Расход воды для кондиционирования воздуха (около 2,8-3,0 л/с) существенного влияния не будет оказывать на водный режим речки. Во время мелководья расход воды для кондиционирования воздуха будет в пределах 5% от общего дебита воды. Вместе с тем, неиспаренная вода самотеком будет возвращаться в речку.

Необходимо отметить, что температура воды подземной речки будет изменяться лишь на 0,02 °С при снятии температурного приращения воздуха, равного 5 °С. Дело в том, что теплоемкость воды в 4 раза больше по сравнению с теплоемкостью воздуха, а массовый расход воды в 70 раз больше такового для воздуха (70 л/с и 0,7 м<sup>3</sup>/с).

На основе представленного материала можно сделать следующие выводы:



1. Проведение работ по благоустройству карстовых пещер следует вести с особой предусмотрительностью, так как они вызывают изменения физических полей окружающего горного массива. Отмеченные изменения являются нежелательными и соизмеримы с изменениями климатических параметров пещерного воздуха.
2. Для установления оптимальных режимов эксплуатации карстовых пещер, необходимо создание научно-исследовательского стационара при пещере, в котором систематически будут измерены микроклиматические параметры пещерного воздуха, показатели ионизации и радиоактивности воздуха, а также наличие различных газов и бактерий в нем.
3. Необходимо заострять внимание на устойчивости окружающего породного массива, на суточном и сезонном колебании дебита карстовых вод, на опасности их загрязнения.
4. По результатам наблюдений и их анализа необходимо выводить и соблюдать основные эксплуатируемые параметры карстовых пещер.

### Литература

1. Tatashidze Z., Gigineishvili G., Tsikarishvili K. (2007). Geographo-Hydrological Arguments On Possible Expansion of the Tskaltubo Cave System // Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, №3, 175, p. 285-288.
2. Tatashidze Z., Tsikarishvili K., Jishkariani J., Kapanadze V. (2002). Tskaltubo cave system – the Largest karst cavite in the Imereti Region // Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, №3, 166, p. 514-517.
3. Jishkariani J., Tatashidze Z., Tsikarishvili K., Lanchava O. (2010). Main Results of Complex Research into the Tskaltubo Cave System. // Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, vol. 4, № 2, p. 92-95.
4. Таташидзе З.К., Джишқариани Дж.М., Цикаришвили К.Д., Капанадзе В.М., Джамришвили А.Р. Новая карстовая пещера в окрестностях Цхалтубо (Западная Грузия) // Пещеры (Межвузовский сб. научн. трудов). – Пермь, 2004. – С. 48-52.