



Г.Н. Амеличев, С.В. Токарев, А.Б.Климчук

Влияние экскурсионной эксплуатации на температуру воздуха в оборудованных пещерах Ялтинская и Геофизическая (Айпетринский массив, Горный Крым)

Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Климчук А.Б. Влияние экскурсионной эксплуатации на температуру воздуха в оборудованных пещерах Ялтинская и Геофизическая (Айпетринский массив, Горный Крым) // Спелеология и карстология, - № 6. – Симферополь. – 2011. – С. 67-75.

Резюме. В течение 7 месяцев в пещерах Ялтинская и Геофизическая, расположенных на Айпетринском карстовом массиве в Горном Крыму, проводился мониторинг температуры воздуха, целью которого было определение влияния экскурсантов на природную среду пещер. Средняя температура за период наблюдений в пещере Ялтинская составила $7,55^{\circ}\text{C}$ ($C_v=0,01$), а в шахте Геофизическая $6,99^{\circ}\text{C}$ ($C_v=0,06$).

Посещение пещер туристами вызывает увеличение температуры воздуха до $0,39^{\circ}\text{C}/\text{сут}$. При низкой посещаемости антропогенные тепловые аномалии разрушаются естественным образом в течение ночи при участии процессов испарения и конденсации пещерной влаги. В периоды с высокой посещаемостью происходит частичное сохранение и накопление антропогенного тепла на более длительные периоды. Суточные термические аномалии в начальный и заключительный периоды курортного сезона составляют в среднем $0,04^{\circ}\text{C}$ (Ялтинская) и $0,13^{\circ}\text{C}$ (Геофизическая), а в пик сезона, соответственно, $0,07$ и $0,20^{\circ}\text{C}$.

Антропогенное влияние на температуру исследованных пещер носит сезонный характер. Оно неустойчиво и на 1-2 порядка меньше, чем сезонная изменчивость естественного температурного поля.

Ключевые слова: микроклимат пещер, температура воздуха пещер, экскурсионные пещеры, экскурсионная эксплуатация пещер, пещера Ялтинская, пещера Геофизическая, Ай-Петри, Крым.

Амелічев Г.М., Токарев С.В., Климчук О.Б. Вплив екскурсійної експлуатації на температуру повітря в обладнаних печерах Ялтинська і Геофізична (Айпетрінський масив, Гірський Крим) // Спелеологія і карстологія, - № 6. – Симферополь. – 2011. – С. 67-75.

Резюме. Протягом 7 місяців в печерах Ялтинська і Геофізична, розташованих на Айпетрінському карстовому масиві в Гірському Криму, проводився моніторинг температури повітря, метою якого було визначення впливу екскурсантів на природне середовище печер. Середня температура за період спостережень в печері Ялтинська склала $7,55^{\circ}\text{C}$ ($C_v=0,01$), а в шахті Геофізична $6,99^{\circ}\text{C}$ ($C_v=0,06$).

Відвідання печер туристами викликає збільшення температури повітря до $0,39^{\circ}\text{C}$ за добу. При низькій відвідуваності антропогенні теплові аномалії руйнуються природним чином протягом ночі за участю процесів випару і конденсації пещерної вологи. У періоди з високою відвідуваністю відбувається часткове збереження і накопичення антропогенного тепла на триваліші періоди. Добові термічні аномалії в початковий і завершальний періоди курортного сезону складають в середньому $0,04^{\circ}\text{C}$ (Ялтинська) і $0,13^{\circ}\text{C}$ (Геофізична), а в пік сезону, відповідно, $0,07$ і $0,20^{\circ}\text{C}$.

Антропогенний вплив на температуру досліджених печер носить сезонний характер. Він нестійкий і на 1-2 порядки менше, ніж сезонна мінливість природного температурного поля.

Ключові слова: мікроклімат печер, температура повітря печер, екскурсійні печери, екскурсійна експлуатація печер, печера Ялтинська, печера Геофізична, Ай-Петрі, Крим.

Amelichev, G.N., Tokarev, S.V., Klimchouk, A.B. The visitors influence on air temperature of Yaltinskaya and Geofizicheskaya show caves (Ay-Petri massif, Mount Crimea) // Speleology and Karstology - № 6. – Simferopol. – 2011. – P. 67-75.

Abstract. Monitoring of air temperature in the Yaltinskaya and Geofizicheskaya caves, situated in the Ay-Petri massif in the Mountainous Crimea, was conducted during 7 months. The purpose of this study is to determine the visitors' influence on natural environment of the caves. Average temperature during the period of monitoring in Yaltinskaya cave was $7,55^{\circ}\text{C}$ ($C_v=0,01$) and in Geophysicheskaya cave was $6,99^{\circ}\text{C}$ ($C_v=0,06$).

The visitation by tourists causes rising of air temperature up to $0,39^{\circ}\text{C}$ per day. In periods of low visitation the anthropogenic thermal anomalies broke down naturally during the night time, with the participation of processes of evaporation and condensation of cave

moisture. In periods of high attendance a partial retention and accumulation of anthropogenic heat occurs. Daily thermal anomalies in starting and finishing periods of holiday season were at the average 0,04 °C (Yaltinskaya) and 0,13 °C (Geofizicheskaya). In the peak season they were 0,07 and 0,20 °C, respectively.

The anthropogenic influence on the temperature of the studied caves has a seasonal character. It is unstable and is 1-2 orders of magnitude less than the seasonal variability of the natural temperature background.

Keywords: Cave microclimate, cave air temperature, show caves, show cave management, Yaltinskaya Cave, Geofizicheskaya Cave, Ay-Petri, Crimea.

ВВЕДЕНИЕ

Крымский полуостров относится к карстовым регионам с мощным спелеоресурсным потенциалом (около 1200 пещер), практический интерес к использованию которого растет из года в год. Высокая освоенность большинства традиционных природно-рекреационных ресурсов (горы, лес, море) и растущий спрос на новые оригинальные виды отдыха, оздоровления и воспитательно-познавательной деятельности привели к интенсивному вовлечению пещерных ресурсов в сферу туристических услуг. В последние десятилетия в Крыму наблюдается настоящий бум спелеорекреационной деятельности, формируются и проектируются новые туристические предприятия, эксплуатирующие спелеологические объекты и их ресурсы. К широко известным ныне спелеокомплексам «Мраморная-Эмине-Баир-Хосар» и «Кизил-Коба» присоединился созданный в 2003 г. туристско-рекреационный комплекс «Пещера Скельская». На Айпетринском плато у верхней станции Мисхорской канатной дороги Ялтинским заповедником проводятся экскурсии в пещеры Ялтинская, Трехглазка, Геофизическая. В Новом Свете экологическая тропа вдоль побережья проходит через известный Шаляпинский грот и пещеру Капчик-1. Осуществляется проработка международного инвестиционного проекта по созданию крупного спелеорекреационного центра на массиве Караби. Таким образом, в будущем антропогенная нагрузка на компоненты пещерных ландшафтов будет неуклонно возрастать. В связи с этим настоятельно необходимы комплексное научное сопровождение освоения пещер в качестве экскурсионных объектов, организация и осуществление мониторинга параметров среды эксплуатируемых пещер, обоснованное определение пропускной способности эксплуатируемых и намеченных к освоению пещер, экологическое нормирование экскурсионной деятельности.

Одним из основных параметров пещерного микроклимата и наиболее чутким индикатором экологического состояния карстовых полостей является температура воздуха. Обычно во внутренних участках пещер, слабо сообщающихся с поверхностью и вследствие этого термически малоизменчивых (в т.н. «нейтральной»¹ зоне пещер; Дублянский, 1977) температура довольно стабильна и в целом эквивалентна среднегодовой температуре

на поверхности. Эти условия выполняются, если пещера заложена достаточно глубоко от поверхности, не подвержена интенсивной естественной и искусственной вентиляции, а также влиянию водных и геотермальных потоков, проходящих через полость. Дополнительное количество тепла и связанное с ним увеличение температуры воздуха в пещере, может генерироваться экскурсантами и осветительным оборудованием пещер. Поэтому при мониторинге возникает ряд важных задач: установление фоновых температурных характеристик, их изменчивость и цикличность, разделение естественных и антропогенных температурных сигналов, определение амплитуды антропогенного возмущения, времени и скорости восстановления параметров от антропогенно-возмущенного до естественного фонового состояния, выявление процессов и механизмов, сопутствующих и способствующих релаксации пещерной среды и др.

Целью данной работы является количественное определение температурного влияния экскурсантов в пещерах Ялтинская и Геофизическая, расположенных на Айпетринском карстовом массиве в Горном Крыму.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕЩЕРНЫХ МЕСТОПОЛОЖЕНИЙ

Экскурсионные пещеры Ялтинская и Геофизическая располагаются на Главной гряде Крымских гор в пределах Айпетринского карстового района. Обе пещеры находятся в Приайпетринской котловине на расстоянии 200 м одна от другой, неподалеку от верхней станции Мисхорской канатной дороги и вершины г. Ай-Петри (1234 м).

Участок плато, где расположена Приайпетринская котловина, покрыт лесо-лугово-степной растительностью, представленной буково-грабовым и сосновым редколесьем с открытыми участками злаково-разнотравных степей, произрастающих на средне- и маломощных горно-луговых почвах. На многих участках почвы отсутствуют и на поверхности обнажены слоистые верхнеюрские известняки, падающие под углами 20-40° на северо-запад. Среди поверхностных форм карста широкое распространение получили разнообразные карры и карстовые воронки.

Входной колодец шахты Геофизическая (рис. 1) располагается в одной из карстовых воронок. Он имеет неправильную округлую форму с поперечником 9×7 м и глубину 28 м. Со дна шахты открываются два горизонтальных хода. Один из них заложен в восточной стене и заканчивается небольшой нишей, другой расположен в западной стене, откуда начинается основная горизонтальная часть пещеры. Западная галерея пещеры имеет протяженность более

¹ Следует отметить, что понятие термостабильной «нейтральной» зоны относительно и зависит от точности измерений. С повышением числа высокоточных (до сотых долей градуса) измерений температуры в пещерах выясняется, что в т.н. нейтральных зонах большинства пещер отмечается сезонная и асезонная изменчивость.

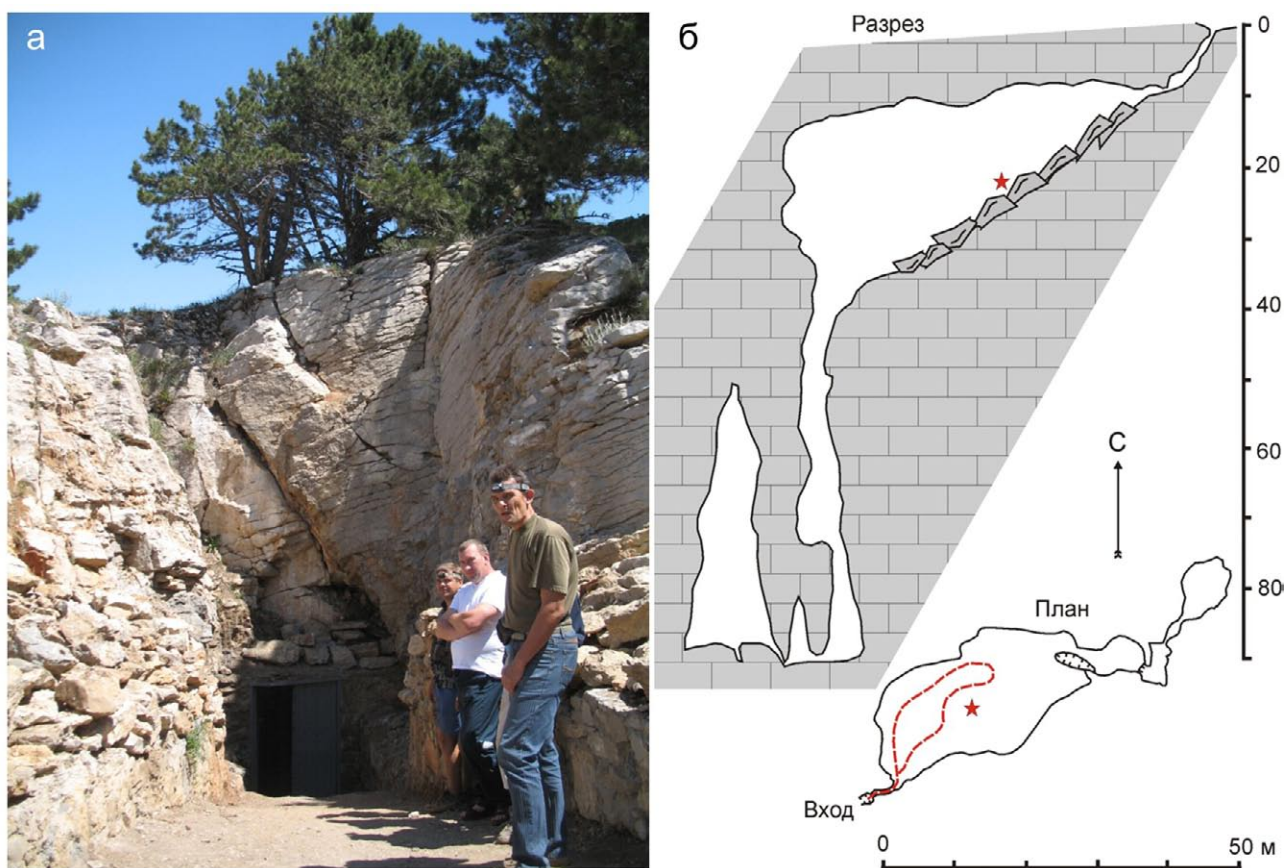


Рис. 1. Вход (а) и пространственное строение (б) пещеры Ялтинская. На плане красным пунктиром показан экскурсионный маршрут, звездочкой – место установки термолггера.

70 м. В трех местах она обрывается в вертикальные колодцы глубиной до 30 м, богато украшенные натекми. Пещера получила свое название в связи с работами геофизиков, которые в 50-х гг. XX в. предсказали наличие в ней горизонтальных ходов. В.Н. Дублянский, В.П. Мелешин и К.В. Аверкиев в 1958 г. выполнили первую топографическую съемку. В 1977 г. установлена связь пещеры с карстово-водоносной системой «Геофизическая – Мисхорская – Хаста-Баш» (Дублянский, Ломаев, 1980). С 2009 г. пещера оборудована для экскурсионной деятельности. Над входным колодцем сооружен деревянный козырек от дождя и снега, установлена винтовая лестница, ведущая ко дну колодца. В горизонтальной галерее сделаны бетонные дорожки со смотровыми площадками. Маршрут освещается от дизель-генератора, установленного на поверхности неподалеку от входа.

Пещера Ялтинская была открыта ялтинским спелеологом Г. Космачем в 1997 г. при разборе глыб среди каррового поля. В 1998 г. она была исследована спелеологами ялтинской спелеосекции (рук. А.В. Папий). Ими был составлен схематический план пещеры (рис. 2) и дано краткое описание (Папий, 1999). Первоначально после разбора завала входное отверстие имело диаметр 0,7 м. Позднее его значительно расширили и установили металлическую дверь, которая выводит в наклонный нисходящий зал размером 40×20×20

м, заваленный обрушившимися с потолка глыбами известняка. В нижней части зала располагается вход в 60-метровый колодец, у дна которого есть соединения с несколькими параллельными восходящими колодцами. В 2007 г. пещера была оборудована для экскурсий. В ней был проложен кольцевой маршрут по периметру Главного зала. Пещерные экспозиции представлены небольшими группировками сталактитов и сталагмитов в нишах Главного зала и гуровыми плотинами в нижней части зала. Пещера оборудована бетонными дорожками со ступенями, металлическими поручнями, проведено электрическое освещение.

Режим работы экскурсионных пещер сезонный, несмотря на круглогодичную работу Мисхорской канатной дороги. С ноября по апрель пещеры в связи с отсутствием экскурсионных потоков практически не работают, за исключением нескольких праздничных дней. В курортный сезон (май-октябрь) экскурсанты посещают пещеры ежедневно с 8 до 20 ч без перерыва. В августе 2010 г. в связи с пожароопасным периодом доступ на яйлу и в пещеры был закрыт в течение пяти дней.

МЕТОДЫ

Наблюдения за температурой воздуха в пещерах Ялтинская и Геофизическая проводились в течение 7 месяцев (февраль-сентябрь), посредством термолггеров ТЛ-21 (разработка И.Штурмы).

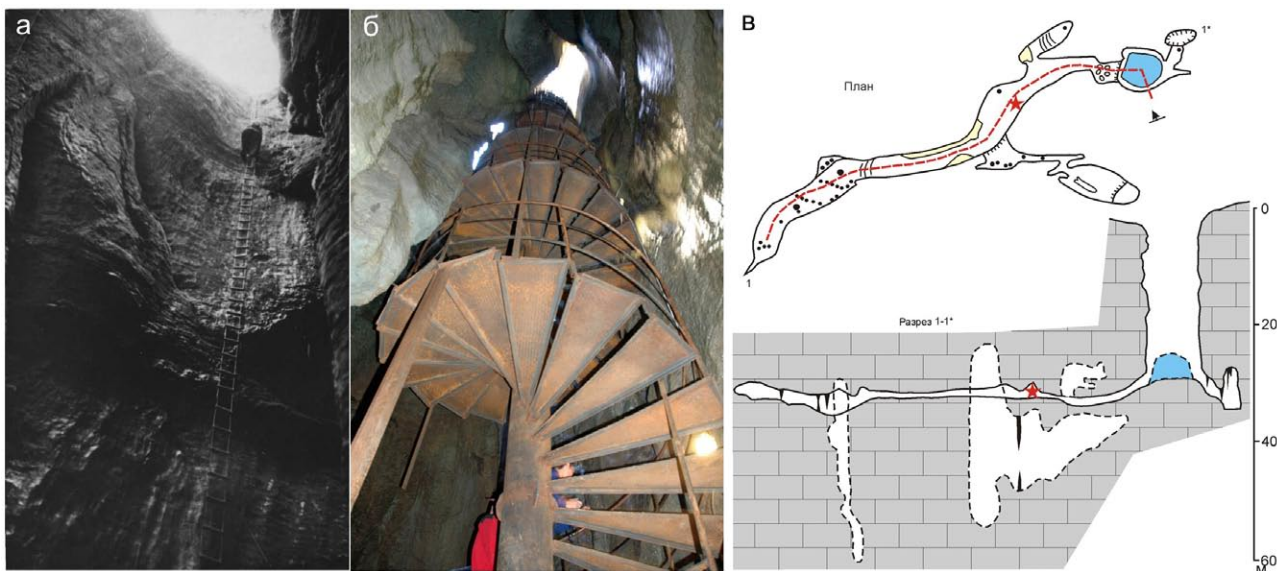


Рис. 2. Входной колодец (а, б) и пространственное строение (в) шахты Геофизическая. а – фото 1959 г., б – фото 2010 г. На плане красным пунктиром показан экскурсионный маршрут, звездочкой – место установки термолггера.

Разрешающая способность термолггера TL-21 составляет 0,01 °С, абсолютная точность 0,05 °С, объем памяти 32000 замеров. Интервал производства измерений был установлен в 30 минут.

Два термолггера были установлены в пещере Геофизическая на глубине 30 м: один в основании входного колодца, другой - в 25 м от первого в горизонтальной галерее на высоте 1 м над бетонной дорожкой. Оба датчика работали непосредственно у экскурсионной тропы в галерее. Однако первый из них вскоре отключился из-за попадания влаги и замыкания. В пещере Ялтинская был размещен один аналогичный термолггер, который фиксировал температуру в Главном зале в 25 м от входа. Датчик был расположен на расстоянии 2 м от экскурсионного маршрута и на столько же ниже его.

Измерениями охвачены два периода, контрастных по внешним климатическим условиям и различающиеся по интенсивности нагрузки на пещерную среду. С февраля по конец апреля – период без выраженного антропогенного влияния, с мая по сентябрь – период с активной экскурсионной деятельностью. Для характеристики наружной температуры были использованы данные метеостанции Ай-Петри, расположенной в 2 км от пещер.

Для вычисления суточных температурных аномалий антропогенного генезиса использовались методики, изложенные в работе (Domingues-Villar et al., 2010). Для определения величины аномалии рассчитывалась разница между средней температурой пещерного воздуха во время экскурсий и средней температурой за временной интервал в 2,5 ч до начала экскурсий. Расчет проводился по формуле:

$$\Delta T_d = \left(\frac{\sum_e T}{n_{1-e}} \right) - \left(\frac{\sum_{t1}^t T}{n_{2-1}} \right), \quad (1)$$

где ΔT_d – суточная тепловая аномалия, T – записанная температура пещеры, t_e – время, когда посетители зашли, t_l – время, когда посетители ушли, t_1 и t_2 – интервал времени в 150 минут взятый утром перед прибытием туристов, n_{1-e} и n_{2-1} – число зарегистрированных показаний прибора в обоих временных интервалах.

В дни, когда наблюдалось повышенное количество экскурсантов, формировалась кумулятивная термическая аномалия, которая представляет собой увеличение температуры вследствие недостаточной интенсивности релаксационных процессов, выравнивающих антропогенные аномалии до фоновых естественных температур. Для определения величины кумулятивной аномалии использовались только средние температуры, рассчитанные для каждого дня за часы, предшествующие экскурсионным посещениям. Для разделения естественного и антропогенного температурного сигнала были использованы разной продолжительности временные фильтры (например, период майских праздников или весь летний курортно-рекреационный период, в которые наблюдается наибольший приток экскурсантов). Величина кумулятивного температурного эффекта, связанного с экскурсионной эксплуатацией, определялась как разность между средней температурой конкретного дня и средней температурой, рассчитанной за последующий выбранный период.

$$\Delta T_c = \left| \left(\frac{\sum_{t1}^{t2} T}{n_{2-1}} \right) - \left[\frac{\sum_{d1}^{d2} \left(\frac{\sum_{t1}^{t2} T}{n_{2-1}} \right)}{m} \right] \right|, \quad (2)$$

где ΔT_c – кумулятивная тепловая аномалия, $d1$ и $d2$ представлены интервалом времени в m дней, за который обрабатывались температуры.

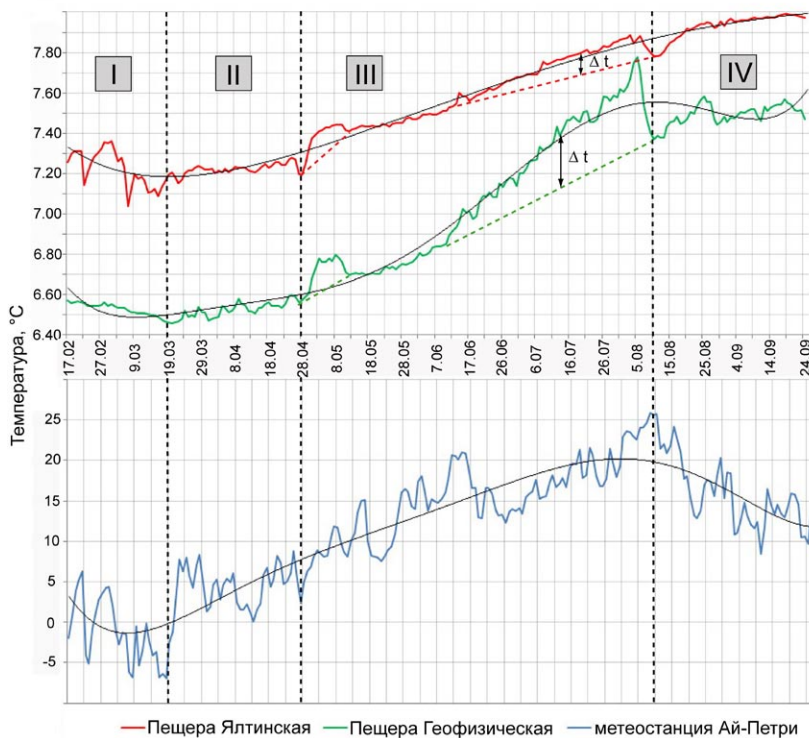


Рис. 3. Характер распределения температуры воздуха в пещерах Ялтинская и Геофизическая, и на поверхности. Термические участки кривых в пещерах: I – зимнего охлаждения (отсутствие экскурсий), II – весенней гомотермии и начала нагревания (отсутствие экскурсий в пещере Ялтинская и начало экскурсий в шахте Геофизическая), III – весенне-летнего нагревания (активная экскурсионная деятельность), IV – осеннего остывания (незначительная экскурсионная деятельность). Проведение границы IV участка спровоцировано запретом на посещение пещер. В обычных условиях она проводится в сентябре-октябре после уменьшения количества посетителей и исчезновения накопленной тепловой аномалии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средняя температура воздуха за период наблюдения в пещере Ялтинская составила 7,55 °С, при диапазоне колебаний 6,99 - 8,07 °С, а в шахте Геофизическая соответственно, 6,99 °С с вариациями от 6,36 до 7,99 °С. Средняя температура на поверхности составила 10,79 °С с амплитудой 32,40 °С.

Для синхронизации и сравнимости данных о температуре пещерного и поверхностного воздуха ряды наблюдений подверглись посуточному осреднению. На полученных кривых (рис. 3) отмечается четкий сезонный ход температур пещерного воздуха с минимумом на трендах в первой-второй декаде марта, с максимумом в конце сентября.

Пещера Ялтинская благодаря своему приповерхностному заложению на 0,3-0,7 °С теплее, чем глубже расположенная экскурсионная галерея шахты Геофизическая. Между двумя кривыми наблюдается тесная корреляционная зависимость, выражаемая коэффициентом связи 0,98. Внутригодовое распределение температур пещерного воздуха зависит от хода температур на поверхности, о чем также свидетельствуют значимые коэффициенты корреляции ($r = 0,79$ для обоих случаев). Высокая зависимость температурного фона обеих пещер от внешних температур позволяет заключить, что они располагаются в толще пород, подверженных

сезонному термическому влиянию. Это необходимо учитывать при расчете антропогенно-обусловленных тепловых аномалий.

Более детальный анализ температурных кривых позволяет выделить на них несколько характерных термических участков. Первый участок характеризует окончание фазы охлаждения пещерного воздуха. На графиках он выражается нисходящей трендовой линией, соответствующей промежутку времени от начала наблюдений до начала второй декады марта. Наблюдается одно-двухнедельное отставание от трендового минимума температуры на поверхности. Для пещеры Ялтинская, расположенной ближе к поверхности, на этом термическом участке характерен более активный (до 0,3 °С) отклик температур на внешние вариации. Шахта Геофизическая, залегающая глубже и представляющая собой «холодный мешок», реагирует колебаниями в сотые доли градуса.

Второй термический участок характеризуется началом фазы нагревания пещерного воздуха и длится примерно до 1 мая. Характер распределения температур этого периода в каждой из пещер, несмотря на общую тенденцию роста и его низкие градиенты, имеет некоторые отличия. В пещере Ялтинская в период с 24.03 по 14.04.10 амплитуда температур составила 0,08 °С (рис. 4). Это связано с формированием относительно устойчивого состояния весенней гомотермии пещерного воздуха, периодом таяния снега на поверхности, фильтрацией талых вод и выполнения ими функции буферизации внешних температурных сигналов в эпикарстовой зоне. Эти же причины привели к общему выравниванию температур за тот же период в шахте Геофизическая. Однако на фоне незначительных вариаций здесь наблюдаются близкие к недельным циклам скачки температуры, увеличивающие амплитуду до 0,48 °С (рис. 4), а на других отрезках термического участка до 0,87 °С. Причиной этих скачков является антропогенный фактор – первые экскурсионные посещения, приуроченные сначала к выходным (отсюда недельная цикличность), а ближе к майским праздникам – и к будням. Поскольку начало и окончание экскурсий в шахту Геофизическая в этот период не фиксировались, определить величину суточных температурных аномалий антропогенного генезиса возможно только приблизительно. Например, для 28.03.10 она составила 0,09 °С, а для 04.04.10 – 0,12 °С. В этом заключается существенное отличие от пещеры Ялтинская, где сохранению стабильных микроклиматических условий способствовало отсутствие экскурсионной деятельности. В пределах данного термического участка полностью отсутствуют значимые корреляционные связи между всеми температурными кривыми.



Рис. 4. График изменения температур воздуха в пещерах Ялтинская и Геофизическая в период весенней гомотермии (24.03-14.04.10)

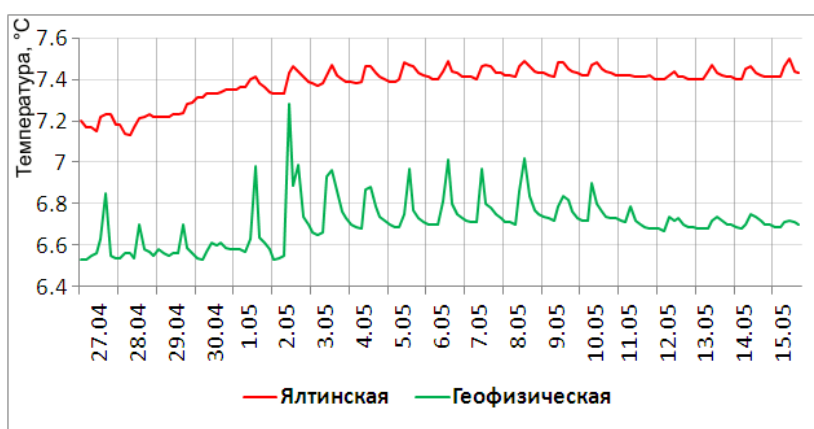


Рис. 5. График изменения температур воздуха в пещерах Ялтинская и Геофизическая в период начальной стадии нагревания (27.04 – 15.05.10).

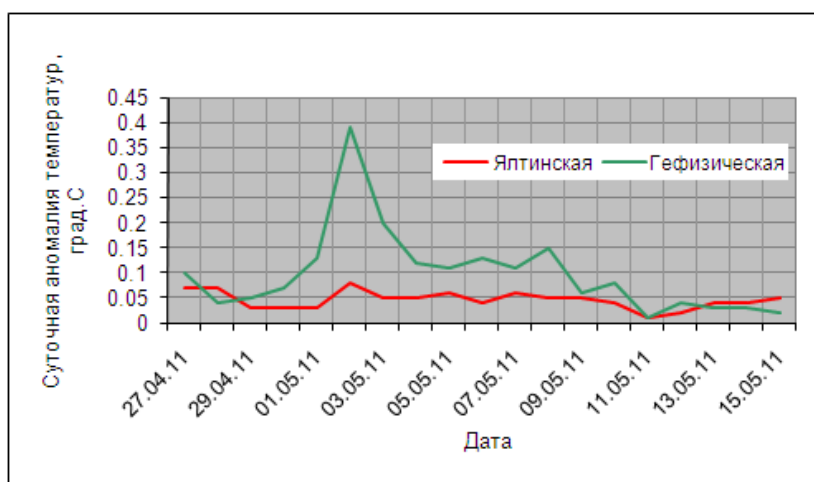


Рис. 6. Ход суточных аномалий температур в пещерах Ялтинская и Геофизическая в период майских праздников 2010 г.

На третий термический участок приходится самый длинный ряд наблюдений. Он охватывает период с 01.05 по 12.08.10, что составляет 45% мониторингового времени. Его начало характеризуется открытием экскурсионной деятельности в пещере

Ялтинская и резким возрастанием числа посетителей в праздничные майские дни в шахте Геофизическая. На температурных кривых пещер (рис. 3) это усиление антропогенной деятельности синхронно отражается в виде относительно мощной тепловой аномалии, сохраняющейся до 10-11 мая. На графике детальных вариаций температур (рис. 5) для пещеры Ялтинской начало экскурсионной деятельности фиксируется появлением четкой суточной цикличности, а для шахты Геофизическая, где такая цикличность уже присутствовала, праздничный наплыв посетителей отразился в увеличении амплитуды суточных колебаний температур в 1,5-2 раза.

Расчеты, выполненные по формуле 1, выявили, что средний суточный тепловой эффект от посетителей за 12 праздничных дней (29.04-10.05.10) составил в пещере Ялтинская 0,04 °С, а в шахте Геофизическая 0,13°С. Максимальные значения суточных аномалий в обеих пещерах приходятся на 02.05.10 и достигают соответственно 0,08 и 0,39°С (рис. 6). Несмотря на то, что в шахте Геофизическая наблюдаются большие суточные аномалии (что может быть связано с более близким расположением термолоттера к экскурсионной тропе), она, благодаря своему более глубокому заложению и соответственно большей термической инертности пород, быстрее восстанавливает фоновые температуры. Этим в частности объясняется незначительная величина суммарной (накопленной) за праздники температурной аномалии. Рассчитанная по формуле 2, аномалия в пещере Ялтинская составила 0,24, а в шахте Геофизическая 0,11°С. График (рис. 6) иллюстрирует полное исчезновение суммарного теплового эффекта, производимого посетителями к 11 мая. Этому также вероятно способствовало небольшое похолодание на поверхности.

Парные коэффициенты корреляции между температурами в обеих пещерах и на поверхности в отличие от предыдущего термического периода указывают на появление значимых (0,52-0,70), но иногда неустойчивых связей. Рост тесноты связи, совпавший с активным началом экскурсионной деятельности, доказывает ведущую роль именно антропогенного эффекта, а не внешней температурной изменчивости,

в формировании тепловых аномалий этого периода. В то же время совпадение тенденций трендовых линий внешних и пещерных температур косвенно свидетельствует о еще значимой роли естественного нагревания на этом временном отрезке. В период с 15.06 по 12.06 малое количество посетителей позволяло не проявляться накопленному тепловому эффекту. Суточные аномалии, лежащие в пределах нескольких сотых градуса, в большинстве случаев срабатывались за ночь.

Накопленный тепловой эффект стал особенно ярко проследиваться в период с 12.06 по 30.06.10 (рис. 7), когда курортный сезон уже уверенно набрал обороты, а количество экскурсантов вышло на предельные уровни. Признаком этого явилось отмечаемое на графике снижение внешних температур, не отразившееся на трендах температур в пещерах. Они продолжали неуклонно расти, хотя и с низким градиентом. Это указывает на всё возрастающую роль антропогенного фактора, мощность которого уже достаточна не только для «компенсации» недостающего тепла во время наружного похолодания, но и для неизменного сохранения текущих температурных тенденций в пещерах. В этот период при более детальном суточном анализе кривых выделяются как участки с высокой степенью синхронности пещерных и внешних температур (рис. 7, А), так и с нарушением синхронности (рис. 7, Б). Анализ метеоданных свидетельствует, что первая ситуация характерна для сухих периодов, последняя - возникает каждый раз, когда выпадают атмосферные осадки. В это время происходит заполнение метеорными водами эпикарстового горизонта, и прохождение температурного сигнала испытывает определенную задержку, приводящую к асинхронизации рядов данных.

Особый интерес представляют результаты анализа температурных кривых завершающего термический участок двухдекадного отрезка (рис. 8). На графике видно, что с 1 по 7 августа все три кривые имеют четко выраженную синхронизированную суточную цикличность. В пещере Ялтинская средняя за неделю величина суточных амплитуд по сравнению с майской выросла в 2 раза и составила $0,08^{\circ}\text{C}$. В шахте Геофизическая за тот же период она выросла в 2,6 раза и достигла $0,34^{\circ}\text{C}$. Рост амплитуд говорит о том, что в августе количество экскурсантов достигло своего максимума. Для первой недели августа характерно совпадение трендов внешних и пещерных температур, связанное с их ростом.

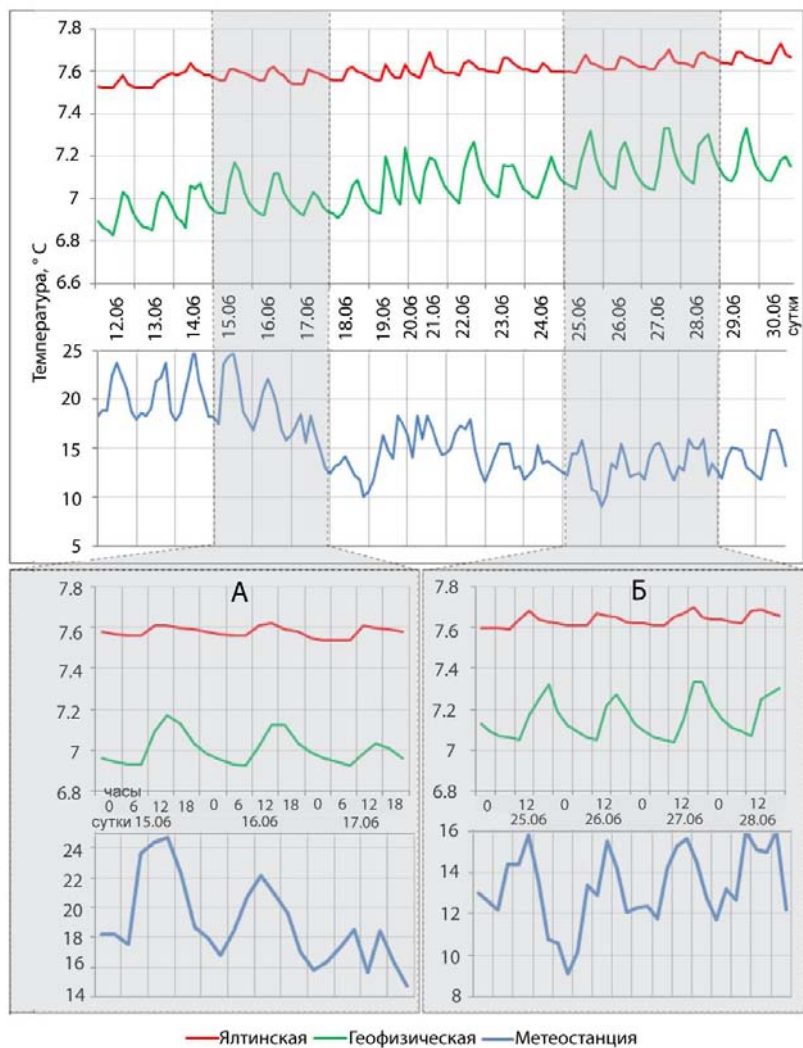


Рис. 7. Ход температур в пещерах и на поверхности в период увеличивающейся экскурсионной нагрузки (12.06 - 30.06, верхний график) с детальным внутрисуточным ходом в периоды 15.06 – 17.06 (А) и 25.06 – 28.06 (Б).

5 августа 2010 г. вышел Указ президента Украины о запрете посещения населением лесных массивов в связи с обострением пожароопасного периода. 7 августа доступ на Айпетринское плато для всех категорий граждан был закрыт. Эта ситуация мгновенно отразилась на графике стремительным падением пещерных температур вплоть до 12 августа, когда запрет был снят. Падение температур в обеих пещерах было синхронным, несмотря на продолжавшийся до 10 августа рост температуры на поверхности. Это дает основание считать, что в период с 7 по 11 августа происходил сброс накопленной тепловой аномалии антропогенного происхождения. К сожалению, быстро восстановившиеся к 12 августа потоки экскурсантов не позволяют понять, в каком масштабе произошло восстановление естественного микроклиматического фона. Выход из строя термолотера, запрограммированного на работу в непосещаемой части пещеры Геофизической, существенно усложнил выяснение этого вопроса. Тем не менее, даже имеющиеся данные позволяют графически выделить

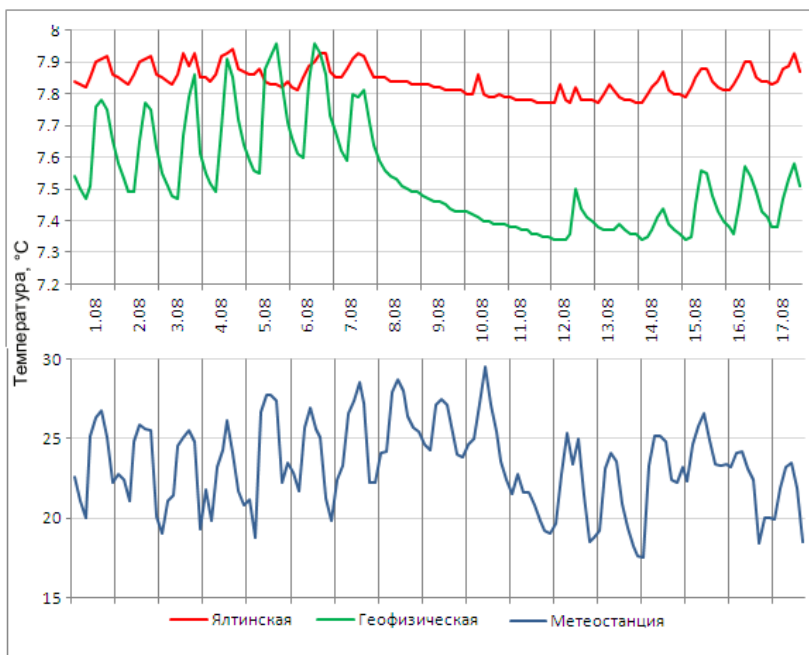


Рис. 8. Совмещенный график изменения температур воздуха в пещерах Ялтинская, Геофизическая и на метеостанции Ай-Петри в период конечной стадии нагревания (01.08 – 17.08.10).

периоды с максимальной антропогенной нагрузкой и примерно рассчитать долю антропогенного теплового эффекта для обеих пещер в майские праздники и июне-августе. Для этого необходимо на температурных кривых пещер (рис. 3) соединить те точки, которые соответствуют минимумам 28.04 и 11.05, 12.06 и 12.08 и которые характеризуют минимальное антропогенное воздействие на пещерные ландшафты. Полученные отрезки будут соответствовать естественному росту температур, а расстояние (Δt) по вертикали до реальной кривой – величине антропогенно обусловленной термической аномалии. Максимальные значения, рассчитанные таким способом, для пещер Ялтинская и Геофизическая в период майских праздников оказались равными – по 0,15°С. Не изменился этот показатель для пещеры Ялтинская и в летний период. А вот в шахте Геофизическая в июне-августе он вырос в 3 раза, составив 0,45°С.

Четвертый термический участок (рис. 3) соответствует началу периода охлаждения, который хорошо выделяется на кривой внешних температур и по появлению нисходящего склона тренда в шахте Геофизическая. В пещере Ялтинская он за данный отрезок наблюдения не выразился. После снятия запрета на посещение пещер количество экскурсантов вновь возросло и все механизмы формирования температурных аномалий быстро восстановились. Однако намечившееся в конце августа - сентябре похолодание не позволило проявиться накопленному тепловому эффекту с тем размахом, который наблюдался в июле – начале августа. Более детально данный термический участок не анализировался.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований можно сформулировать несколько основных выводов:

1. За период проведенных наблюдений средняя температура в пещере Ялтинская составила 7,55 °С, а в шахте Геофизическая 6,99 °С. Это несколько меньше, чем средняя за это же время температура на поверхности (10,79 °С), но больше, чем многолетняя годовая (5,7 °С). Абсолютное значение амплитуды в пещере Ялтинская составило 1,07 °С, а в шахте Геофизическая достигло 1,63 °С.

2. Анализ температурных кривых разной степени детальности выявил в пещерах Ялтинская и Геофизическая наличие двух видов цикличности – годовой и суточной. Первая совпадает с естественной сезонной изменчивостью температур на поверхности, вторая – проявляется преимущественно в теплый период года и связывается с экскурсионной деятельностью в пещерах.

3. Высокая зависимость пещерной термики от внешнего температурного сигнала свидетельствует, что обе полости заложены в зоне сезонного влияния температур, а основные факторы передачи тепла – адвекция и теплопроводность пород.

4. Экскурсионная эксплуатация пещер Ялтинская и Геофизическая приводит к тому, что в пещерную атмосферу выделяется дополнительное количество тепла, которое проявляется в циклическом (внутрисуточном) росте (день) и падении (ночь) температур. Максимальная суточная аномалия температур антропогенного генезиса в такие дни может достигать в пещере Ялтинская 0,08 °С, а в шахте Геофизическая 0,39 °С. Такая разница температурных аномалий, скорее всего, связана с различиями позиций термодатчиков относительно экскурсионной тропы, а также конфигурации и размеров исследуемых участков пещер.

5. В дни с высокой посещаемостью пещер температуры в ночное время не успевают восстановиться до уровня естественного прироста, что является критерием превышения пропускной способности пещер по микроклиматическим условиям (Cigna, Burri, 2000). Возникает накопительный (кумулятивный) эффект, который, например, в майские праздники 2010 г. в пещере Ялтинская достиг значения 0,24 °С, а в шахте Геофизическая 0,11 °С. За период наибольшей экскурсионной активности (12.06-12.08.10) он составил, соответственно, 0,18 и 0,38 °С. Доля антропогенного вклада в формировании пещерных температур за курортный сезон была стабильной в Ялтинской пещере и увеличилась в шахте Геофизической к 7 августа в 3 раза. Низкое влияние антропогенного эффекта на температурный фон пещеры Ялтинской можно объяснить большим объемом её главного зала (по которому проходит экскурсионная трасса), что является причиной высокой саморегуляции и большей стабильности температуры воздуха.

6. Тепловые аномалии антропогенного происхождения колеблются в пределах сотых-десятых долей градуса, что меньше, чем естественная изменчивость. Антропогенное влияние, по-видимому, не затрагивает долгосрочную температурную изменчивость в исследованных пещерах ввиду релаксации за период отсутствия посещаемости, а также поскольку в стабилизацию нарушенного температурного поля включаются процессы испарения и конденсации, посредством которых достигается тепловое равновесие.

Температурный мониторинг воздушной среды в оборудованных пещерах является важнейшим инструментарием для разработки разнообразных микроклиматических моделей этих объектов, главным средством контроля их экологического состояния и основанием для разработки мероприятий по регулированию режима эксплуатации. Наличие постоянного контроля за температурой воздуха

– обязательный элемент инфраструктуры любой эксплуатируемой пещеры.

ЛИТЕРАТУРА

Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. – Л.: Наука, 1977. – 182 с.

Дублянский В.Н., Ломаев, А.А. Карстовые пещеры Украины. - Киев: Наукова думка, 1980. - 179 с.

Папий А. Ай-Петри. Год 1998 // Свет. - 1999. - №1 (20). - С. 4 - 5.

Cigna, A.A., Burri, E. Development, management and economy of show caves. International Journal of Speleology. – 2000. - 29 В. - №1/4.– P. 1-27.

Domingues-Villar D., Fairchild I., Carrasco R., Pedraza J.Baker A. The effect of visitors in a touristic cave and the resulting constraints on natural thermal conditions for paleoclimaty studies (Eagle cave, Central Spain) // Acta Carsologica. – 2010. - 39. - №3. - P. 491-502.