

Лукьяненко Е.А.
ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОДЗЕМНЫЙ ЛАНДШАФТ
СПЕЛЕОКОМПЛЕКСА «ПЕЩЕРА МРАМОРНАЯ»

Учет и изучение рекреационных ресурсов Украины является неременным условием развития туристско-экскурсионной отрасли. Широкое развитие карста на территории Украины предопределяет наличие спелеоресурсов в виде крупных карстовых полостей перспективных для оборудования и организации туристско-экскурсионных спелеокомплексов [1]. Среди них выделяются пещеры Горного Крыма и Подольско-Буковинской карстовой области. В данной статье рассматривается опыт эксплуатации подземных ландшафтов карстовых полостей Мраморная и Эмине-Баир-Хосар, входящих в состав спелеокомплекса «Пещера Мраморная» на карстовом массиве Чатырдаг.

Решение задач оборудования, рациональной эксплуатации, перспективного развития туристско-экскурсионного комплекса «Пещера Мраморная» потребовало систематизации и обобщения различной информации о подземном ландшафте карстовых полостей Мраморная и Эмине-Баир-Хосар, накопленной в течении 10 лет.

Под антропогенными факторами, оказывающими влияние на подземный ландшафт пещерного комплекса «Мраморная» автор в данном конкретном случае, понимает воздействие на пещерную среду в результате эксплуатации пещеры как экскурсионного объекта.

Благоустройство и эксплуатация пещеры в качестве экскурсионного объекта является фактором, серьезно воздействующим на ее среду, и способным изменить ее до опасной степени необратимого изменения главных свойств подземного ландшафта – тех свойств, которые и вызвали потребность в экскурсионной экспозиции пещеры. Это конечно крайний случай, который редко реализуется, но задача минимизации изменений подземного ландшафта пещеры является одной из важнейших при ее благоустройстве и эксплуатации.

В работе Т. Хитона предложена весьма эффективная концепция энергетических уровней пещер. По его классификации, пещеры могут быть разделены на три категории: высокоэнергетичные, среднеэнергетичные и низкоэнергетичные.

Высокоэнергетичные пещеры регулярно переживают события большой энергии, например периодические паводки (нижние этажи Красных пещер, Крым, Долгоруковский массив); для них характерен значительный межлетний сток.

В среднеэнергетичных пещерах наиболее мощные силы являются по крайней мере на порядок менее энергетичными, чем действующие в пещерах предыдущей категории : спокойно текущая вода, воздушная тяга или деятельность животных.

Низкоэнергетичные пещеры характеризуются еще на порядок менее энергетичными событиями: самыми значительными событиями является падение капель со сводов. Такие энергетичные состояния среды, по мнению автора, могут иметь место в различных участках одной пещеры.

Влияние экскурсионной эксплуатации должно рассматриваться в контексте вышеназванных состояний. В пещерах первой категории воздействие эксплуатацию на среду практически не ощутимо: такие пещеры или участки пещер могут быть за короткий промежуток времени (месяц, год) существенно преобразованы гравитационными процессами или паводком. В пещерах второго типа (которые обычно наиболее богаты натечными образованиями) поток посетителей может оказывать более существенное воздействие, так как высвобождаемая при этом энергия может быть однопорядковой с энергией естественных процессов.

Различные участки пещер Мраморная, Эмине-Баир-Хосар находятся в разных энергетических состояниях. Например, Галерея сказок, Зал Перестройки, Плотинный, Гуровый (Мраморная пещера), Северная галерея, Верхний Баир (пещера Эмине-Баир-Баир) – относятся к среднеэнергетичным средам; Некоторые залы Нижней Мраморной и Нижнего Баира – можно отнести к низкоэнергетичным средам. Таким образом, экскурсионная трасса и поток посетителей в их пределах должен будет вызывать наиболее выраженное возмущение среды.

Основными факторами антропогенного влияния на подземный ландшафт являются:

- Оборудование экскурсионных маршрутов, сооружение второго - искусственного входа в пещеру;
- Влияние освещения;
- Влияние экскурсионного посещения.

Все эти факторы в свою очередь в разной степени влияют на элементы подземного ландшафта.

1.Оборудование экскурсионных маршрутов.

В результате оборудования экскурсионных маршрутов в пещере изменился поперечный и продольный профиль ходов и галерей. Появились искусственные элементы подземного ландшафта: бетонные дорожки, каменные кладки, перила, искусственные тоннели и траншеи.

По оценкам специалистов Международной Ассоциации экскурсионных пещер оборудование маршрутов в пещерах комплекса проведено на высоком техническом уровне. При строительных работах были приняты все меры по максимальному сохранению первозданности натечного убранства пещер, входящих в состав спелеокомплекса.

Влияние строительства второго искусственного входа в пещеру повлияло на такой важный элемент подземного ландшафта как микроклимат. В результате в привходовой ее части в пределах 5 – 6 метров от входной двери образовалась локальная циркуляция воздуха за ней возникла небольшая «буферная подзона», на которую оказывает влияние, как привходовая, так и основная «нейтральная микроклиматическая зона» пещеры. Появление ледяных натечков в зимний период в привходовой части пещеры связано с ием

дополнительным воздухообменом с поверхностью, происходящим через второй вход в полость, и является следствием большей зависимости «привходовой» зоны от изменения температуры на поверхности.

2. Влияние освещения.

Система освещения в пещере генерирует некоторое количество тепла. В связи с этим температура в пещере увеличивается и достигает стационарных значений, превышающих природные. Вблизи источника света эффект может быть как физический (температурный), так и биологический. В случае использования ламп накаливания температурный эффект усиливается, если светильники расположены вблизи поверхностей стен, натеков и т. пр. Например, в пещере Кастелляна (Италия) температура скальной стены в 50 см от светильника мощностью 1 кВт увеличилась за несколько секунд от 15°C до более чем 25°C, с уменьшением относительной влажности от 95 – 100% до 55 – 60% и возникновением сильного восходящего потока воздуха.

Ощутимое увеличение температуры и влажности в средней части Тигрового хода объясняется как естественными причинами (здесь она была выше в первоначальный период эксплуатации) так и техногенными. Но повышение температуры и изменение влажности необходимо рассматривать как производную от двух факторов: влияния освещения и влияния посетителей.

Проанализировав данные режимных наблюдений за температурой воздуха в пещере Мраморная можно сделать вывод, что повышения температуры незначительные, максимально – в середине Тигрового хода до 12°С (средняя для этой зоны 10°С). Аналогично происходит повышение абсолютной влажности в этой зоне пещеры до 13 Мб (средняя для этой точки 12,3 Мб).

Биологический эффект – полиферация водорослей и мхов вокруг источников света – является обычной проблемой экскурсионных пещер. Эти организмы не только оказывают негативное воздействие на эстетический облик пещеры, но также вызывают активную коррозию натеков за счет биохимических процессов. Развитию водорослей и мхов в наибольшей степени способствуют широко распространенные лампы накаливания, имеющие спектр эмиссии, покрывающий типичные диапазоны абсорбции растительных организмов. Газосветные лампы («холодного света») значительно меньше стимулируют рост зеленых водорослей и мхов.

За счет действия направленного пучка света на поверхность стен и натеков (как следствие увеличение температуры) увеличилось количество микроорганизмов, представленных азотфиксирующими бактериями, гетеротрофами, актиномицетами, микроскопическими грибами и водорослями. Увеличение содержания данных микроорганизмов в воздушной среде отмечено во всех пещерах комплекса, но патогенных среди них на сегодняшний день не обнаружено.

3. Влияние посетителей.

Температурное загрязнение.

Расчеты температурного влияния довольно сложны, так как количество тепла, выделяемого человеком, варьирует в широких пределах и зависит как от факторов среды (температуры и влажности воздуха), так и от индивидуальных особенностей посетителей (размеры, скорость движения, одежда и др.) Наблюдения, выполненные в картинном зале пещеры Альтамира (Испания), показали, что один среднестатистический посетитель выделяет тепла в пределах от 82 до 116 ватт (1 ватт = 1 Дж/сек). Если человек движется, этот показатель увеличивается до 170 ватт. Годовой приток тепла от посетителей (Е, Дж/сек) может быть оценен по формуле:

$$E = 170 \times t \times 3600 \times N$$

Где: t – среднее время экскурсии в часах;

N – общее количество посетителей в год.

Расчеты, проведенные для пещеры Фрасасси в Италии показали, что при потоке экскурсантов в 500000 чел/год и средней продолжительности экскурсии 1,5 часа, общее количество выделенного тепла составит 4,59 x 10 Дж/сек ежегодно.

В пещере Мраморная этот показатель будет равен 1,41x10 Дж/сек (максимальный поток 230000 чел./год, (1992г.) продолжительность экскурсии 1 час), что в два с лишним раза меньше чем в пещере Фрасасси. Следует отметить, объем полостей в экскурсионной части пещеры Мраморной в несколько раз меньше, чем в пещере Фрасасси, так что тепловое воздействие потока экскурсантов на среду в Мраморной более значительно. Это же относится и к пещере Эмине-Баир-Хосар. Тепло, выделяемое посетителями, повышает температуру воздуха в окрестностях экскурсионной трассы, время восстановления температуры после прохождения группы достигает нескольких десятков минут.

Физическое (аэрозольное) загрязнение.

Поток экскурсантов может вызывать физическое загрязнение пещерной среды. Исследованиями, проведенными в Кунгурской пещере в 1992 году выявлено, что поток экскурсантов является серьезным источником аэрозольных загрязнений, повышающим природный фон на порядок и более. Измерения, проведенные при прохождении экскурсий в относительно «чистых» залах пещеры выявили некоторые закономерности. Группа экскурсантов (40 человек) увеличивает концентрацию аэрозоля размером 0,3 мкм в зоне от 2 до 4 м от экскурсионной трассы в 5-8 раз. Интенсивность «продукции» аэрозолей одним экскурсантом оценена в 10⁹ частиц/мин. Измерения в разных залах показали, что «аэрозолепродуктивность» экскурсантов слабо меняется за время его пребывания в пещере. В дни, когда экскурсии не проводятся, за сутки концентрация аэрозолей падает почти на порядок. При моделировании встряхивания одежды имитирующем ходьбу, были получены спектры аэрозолей, сходные со спектрами, полученными при прохождении экскурсий. Движение ногами по полу пещеры, почти всегда увлажненному,

не увеличивало концентрации аэрозолей. Таким образом, основным источником аэрозольного загрязнения при прохождении группы являются одежда и волосы экскурсантов.

В пещере Мраморная один экскурсант генерирует около 6×10^9 частиц за 1 часовую экскурсию. Такие же показатели и в пещере Эмине-Баир-Хосар. При экскурсионном потоке (max зарегистрированном) 230000 чел/год в пещеру ежегодно привносится около $1,4 \times 10^9$ аэрозольных частиц. Ввиду малой интенсивности воздухообмена, большая часть которых осаждается в пещере. В практике эксплуатации ряда экскурсионных пещер отмечено, что с потоком посетителей связан так называемый «линт» - волокнистые частицы шерсти, хлопка и синтетических материалов. Осажденный линт в Карлсбадской пещере визуально заметен и ухудшает вид натеков. Средняя скорость накопления линта оценена в 2 кг в год (оценка производилась по весу высушенного до 30 % влажности линта). За все время ее эксплуатации с статусе Национального парка в ней накопилось 74,8 кг линта [2]. В Карлсбадской пещере постоянно проводятся работы по очистке различных участков от линта. В отдельных залах чистка производится с периодичностью с 7-10 лет, а общие трудозатраты на эти работы составляют около 2000 человеко-часов в год.

Химическое загрязнение.

Химическое загрязнение вызываемое посетителями, заключается в выделении диоксида углерода. Любое увеличение концентрации CO_2 может повлиять на химическое равновесие пещерных вод и минеральных образований. Модель, описывающая вариации диоксида углерода в зависимости от потока посетителей, была предложена Е. Вилларом в 1986 году. Концентрация CO_2 пропорциональна количеству посетителей и времени их пребывания в пещере:

$$C(T) = 1,7 \times 10 \times N \times t; \text{ где}$$

$C(T)$ - изменение концентрации CO_2 (в промилях) за время T ;

N – количество посетителей;

T – время пребывания посетителей (час);

V – объем пещерного зала (м^3).

В пещере Альтамира (Испания) концентрация диоксида углерода восстанавливается до первоначальных значений за 12 часов после пребывания группы из 6 человек в течение 0,3 – 1 час. Повышение концентрации CO_2 в пещере может существенно повысить агрессивность вод и вызвать коррозию натеков, кристаллов, наскальных рисунков [3].

В периоды интенсивного посещения пещеры Мраморная в галерее Сказок (объем 5020 м^3) в дневные часы постоянно находится около 40 человек. Приведенные расчеты показали, что концентрация CO_2 на этом участке за 6 часов работы должна повысится на 8127ppm (об.%). Имеющийся воздухообмен с поверхностью и залом Перестройки снижает в несколько раз природу концентрации CO_2 . Однако этот показатель остается весьма значительным: фоновая летняя концентрация CO_2 , равная 0,42 об.%, может быть за день повышена почти в 2 раза.

Биологическое загрязнение.

Биологическое загрязнение заключается в привносе посетителями спор, бактерий и органического материала. Это наряду с тепловым загрязнением и освещением, провоцирует активное развитие мхов и водорослей вокруг источников света, так называемой ламповой флоры (*lampflora*) [4].

Уже после первых месяцев эксплуатации пещер Мраморная и Эмине-Баир-Хосар, в них было установлено существенное увеличение численности микроорганизмов в пробах грунта и воздуха. Сочетание двух «источников загрязнения»: влияние посетителей и освещения привело к росту количества микроорганизмов представленных азотфиксирующими бактериями, гетеротрофами, актиномицетами, микроскопическими грибами и микроводорослями. Патогенных для организма человека микроорганизмов на сегодняшний день в грунте и воздухе пещер комплекса не обнаружено.

Влияния антропогенного воздействия на повышение радиометрического фона в пещерах не зафиксировано. Радиометрическими исследованиями установлены колебания радиоактивности от 5 до 40 мкР /час, что не представляет опасности для посетителей (фон г.Симферополя равен 12 – 15 мкР.час).

Меры по ограничению влияния антропогенных факторов на подземный ландшафт.

Как показано выше, в некоторых пещерах, особенно среднеэнергетичных, влияние экскурсионной эксплуатации может играть важную роль в энергетическом балансе и приводить к существенным изменениям параметров пещерной среды. Это в полной мере касается пещер Мраморная и Эмине-Баир-Хосар. Ниже изложен ряд мер по ограничению воздействия антропогенных факторов на подземный ландшафт, успешно применяемых в практике эксплуатации спелеокомплекса.

1. Создание мониторинговой сети наблюдательных станций за изменением параметров пещерной среды. При разработке сети необходимо предусматривать возможность ее распространения на вновь вводимые в эксплуатацию спелеообъекты.

2. Для предотвращения изменений температуры и минерализации подземных вод, а также их загрязнения необходимо оборудование экскурсионных дорожек бортиками, высотой не менее 7 см, препятствующих попаданию загрязнения с бетонной дорожки. Еженедельная обработка дорожек специальным дезинфицирующим раствором (формалин 10%);

3. Для ограничения привноса энергии система освещения должна быть разделена на подсистемы рабочего и зрелищного освещения, а также на автономно управляемые с помощью ИК лучей секции. Это позволит использовать минимальное количество светильников, достаточное для экспозиции определенного участка пещеры. Установка системы дистанционного управления светом, с помощью ИК лучей, в пещерах комплекса является наиболее активным способом борьбы с увеличением количества ламповой флоры.

Тепловое загрязнение и рост флоры уменьшается при расположении светильников на расстоянии не менее 1,5 – 2 м от стен.

4. Оптимизация структуры и времени экскурсионного маршрута. Наиболее актуальна эта проблема для галереи «Тигровый ход»(пещера Мраморная). Открытие искусственного выхода в конце Тигрового хода позволит избежать обратного прохода посетителей и увеличить общую пропускную способность пещеры в 1,5 – 1,7 раза, что в свою очередь повысит эффективность использования спелеоресурсного потенциала комплекса. Снижение привноса тепла в Тигровый ход особенно важно в связи с тем, что эта часть пещеры характеризуется наиболее низкой энергетичностью, и тепловое влияние экскурсий существенно выходит за рамки естественных флуктуаций. Следует отметить, что открытие искусственного выхода может привести к серьезным нарушениям пещерного микроклимата из-за изменения структуры и активизации воздухообмена. При реализации этого проекта обязательно должна быть предусмотрена воздухозапирающая система во вскрываемой штольне. Эти же меры существенно улучшат ситуацию, касающуюся изменений концентрации CO₂ в воздухе пещеры.

5. Для поддержания существующего режима влажности, температуры и содержания CO₂ в оборудованных галереях пещер необходим подсчет и определение оптимальной экскурсионной нагрузки для каждого экскурсионного маршрута в отдельности. Замеры микроклиматических характеристик должны производиться после каждого экскурсионного дня во всех посещаемых галереях пещер.

6. В процессе исследований, после получения первых результатов микробиологических наблюдений в пещере Мраморная определен ряд мер, способствующих предотвращению изменения микробиологической среды полости:

На участках, где наблюдается распространение грибковой инфекции рекомендуется влажное снятие мицелиального налета с последующей обработкой инфицированных очагов 10% раствором формалина или фенола (карболовой кислоты). Возможна также обработка бактерицидной кварцевой лампой. Для предотвращения развития растительности в пещерах рекомендуется оборудование на входной площадке устройства со специальным покрытием, пропитанным дезинфицирующим раствором.

Использовать систему дистанционного управления светом, периодически меняя расположение светильников или по крайней мере менять направление пучка света.

Продолжать наблюдения за микробиологической обстановкой в пещерах, разрабатывая эффективные меры борьбы с развитием ламповой флоры.

6. Для контроля за радиометрическим фоном производить регулярные измерения. Во избежание техногенного загрязнения необходим четкий контроль за соблюдением техники безопасности при ведении технических работ в пещерах, соблюдение правил посещения экскурсионных маршрутов.

Таким образом, приведенный в статье материал может рассматриваться как определенный опыт исследования и эксплуатации крупного туристско-экскурсионного спелеокомплекса, который необходимо учитывать при оборудовании пещер в карстовых областях Украины.

Литература

1. Дублянский В.Н., Ломаев А.А. Карстовые пещеры Украины.– Киев: Наук.думка, 1980. – 180с.
2. R.Kerbo, J.Roth. Cave resources management of Carlsbad caverns national park, 1988, 60 s.
3. Gressel W. Zur Kenntniss der Hohlenmetereologie. – Actes IV Congress speleologi, Ljubljana, 1968, v.3.
4. Statement for Management Jewel Cave National Monument, 1987, 42 s.