

УДК. 551.44

МИКРОКЛИМАТ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР КАК РЕГУЛЯТОР РЕКРЕАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ТУРИСТСКО-ЭКСКУРСИОННЫХ СПЕЛЕОКОМПЛЕКСОВ

Лукьяненко Е. А.

Наиболее распространенное в мире использование карстовых пещер как особого вида природных и рекреационных ресурсов это оборудование и эксплуатация экскурсионных спелеокомплексов. 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. В данной статье рассматривается влияние микроклиматических параметров на пропускную способность пещеры Мраморная, входящей 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 карстовой полости Мраморная, накопленной в течение 10 лет.

К числу важных эколого-экономических характеристик эксплуатации экскурсионной пещеры – основы спелеокомплекса, относятся посещаемость, пропускная способность и рекреационная емкость. Определим эти понятия.

Посещаемость пещеры – количество посетителей, которое установится в данных экономико-географических условиях и при данных условиях посещения (стоимости входного билета), при уровне рекламы и пространственной доступности (паводки, состояние подъездных путей и др.) в случае неограниченной пропускной способности пещеры. Понятие «посещаемости» соответствует понятию «спроса» в товарной экономике.

Посещаемость пещеры в большей степени зависит от экономических аспектов: в частности, от минимизации затрат на преодоление геопространства, маркетинговой политики предприятия, обслуживающего спелеокомплекс, а также, в целом, от политической и экономической обстановки в государстве. В 1992 году посещаемость пещеры Мраморная на Чатырдаге, Горный Крым достигла 230 тыс. человек, а в 1994–1995 годах, на пике экономического кризиса, при резком падении уровня жизни населения, сократилась до 70 тыс. человек. В 2002 году пещеру посетило 150 тыс.

человек. Но нельзя не учитывать и природные факторы, которые могут серьезно повлиять на посещаемость спелеокомплекса. Например, опасность паводков в пещере Кизил-Коба на Долгоруковском массиве, Горный Крым.

Фактическая посещаемость пещер колеблется в широких пределах. К крупным объектам относятся пещеры с посещаемостью от 200 тыс. до 1 млн. человек в год; к средним от 30 до 200 тыс. чел./год; к малым до 30 тыс. чел./год. Режим работы пещер спелеокомплекса определяется типом экскурсий, а также часами (в день), днями, (в неделю) и сезонностью работы [2].

Пропускная способность пещеры – количество экскурсантов, которое может посетить спелеообъект в течение календарного года при данных морфологических параметрах и технических условиях оборудования экскурсионной трассы. без возникновения недопустимых изменений подземной среды. Это понятие аналогично понятию “предложение” в товарной экономике.

Рекреационная емкость пещеры – количество экскурсантов, которое может посетить спелеообъект в течение календарного года при данных морфологических параметрах и технических условиях оборудования экскурсионной трассы, ограниченное условием недопущения изменения качества спелеоресурсов. В данном случае спелеоресурсы выступают как вид рекреационных ресурсов.

Пропускная способность пещеры, исходя из определения, главным образом зависит от двух групп геоэкологических факторов: 1) морфология пещеры (размеры залов); 2) размеры, структура и конструктивная особенность подземной экскурсионной трассы.

Рекреационная емкость пещеры зависит от трех групп геоэкологических факторов: 1. Морфология пещеры (размеры залов). 2. Размеры, структура и конструктивная особенность подземной экскурсионной трассы. 3. Установленными допустимыми пределами, контролируемых характеристик пещерной среды.

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 [3]. Определение пропускной способности пещеры необходимо для решения задачи минимизации влияния антропогенных факторов на пещерную среду. Рекреационная емкость пещеры призвана лимитировать техногенную нагрузку на подземный ландшафт спелеокомплекса, следовательно, наиболее значимой для сохранения экологического баланса пещерной среды, поддержания ее эмерджентного свойства является третья группа факторов. Остановимся на ней подробнее.

Контролируемыми характеристиками пещерной среды, наименее устойчивыми к антропогенному и техногенному воздействию являются микроклиматические показатели, о чем свидетельствует накопленный опыт эксплуатации спелеокомплекса “Пещера Мраморная” в Горном Крыму. Детальное изучение микроклиматических

характеристик карстовой полости играет решающую роль для определения пропускной способности экскурсионной пещеры.

Опираясь на десятилетний опыт наблюдений наиболее подвержены изменениям вследствие экскурсионной эксплуатации следующие микроклиматические характеристики пещерной среды: 1) тепловой баланс; 2) режим температуры; 3) газокомпонентный состав пещерного воздуха;

Для определения пропускной способности пещеры необходимо охарактеризовать вышеперечисленные параметры. Для характеристики компонентов пещерной среды, включая микроклимат, газовый состав воздуха и их изменения в связи с техногенной нагрузкой был принят стационарно-маршрутный метод исследования. При этом элементы микроклимата измерялись ежедневно на 9 точках наблюдений в пещере Мраморная и 11 точках – в пещере Эмине-Баир-Хосар. В результате детального изучения пещерных систем были выбраны точки наблюдений, обладающие одинаковыми характеристиками (табл. 1). Наблюдения за газовым составом воздуха проводились путем маршрутных исследований с помощью портативного хроматографа “Поиск-1” и шахтного интерферометра “ШИ-1”, по возможности они привязывались к точкам метеорологических исследований. Накопление и обработка данных по микроклимату пещер осуществлялась с помощью компьютерных программ Fox, SER, GRAFFER [4].

Тепловой баланс пещеры. Впервые расчет теплообмена для пещеры Кунгурская в Предуралье произвел В.С. Лукин [5]. В дальнейшем эта методика была применена В.Н. Дублянским в Горном Крыму для расчета теплообмена Краснопещерного блока, Долгоруковский массив в 1977 году [6]. По его подсчетам летом за час в пещеру поступает $3556,8 \times 10^6$ ккал, а зимой происходит отток тепла количеством $3366,7 \times 10^6$ ккал в сутки. В таком случае летом будет происходить непрерывное прогревание пещеры до величины $153 \text{ сут.} \times 3366,7 \times 10^6 \text{ ккал} = 505105 \times 10^6 \text{ ккал}$, а зимой – постепенный расход этого тепла. Но на самом деле фактическая картина совсем иная. Согласно проведенным наблюдениям в большей части оборудованных пещер спелеокомплекса сберегается постоянная температура, которая не зависит от сезона. На температурный режим активно влияет изменение морфологии полости: создание искусственных перегородок (дверей), прокладка тоннелей, вследствие чего нарушается воздухообмен в полости. Сама карстовая полость, если не вмешиваться в ее среду, поддерживает постоянную температуру и влажность в своих частях. Необходимо учесть тот факт, что количество тепла, поступающее в пещеру, первоначально расходуется на нагрев горных пород, вмещающих полость, и соответственно, уменьшается. На сегодняшний день определить основные параметры теплового баланса пещеры достаточно трудно, для этого необходимы специальные исследования: установка датчиков, на стенах пещер, в глубоких скважинах в горной породе. Но, тем не менее, увеличение количества тепла в пещере, вследствие антропогенной нагрузки является реальным фактом.

Исходными параметрами для данного определения будут являться: посещаемость

пещеры за год и количество тепла, выделяемое экскурсантом при движении по маршруту.

Посещаемость пещер спелеокомплекса “Пещера Мраморная” в среднем составляет 100000 человек в год. Экскурсант при движении по маршруту выделяет в среднем 170 ватт энергии и находится в пещере в основном не более 1 часа. Таким образом, количество тепла, поступающее в пещеру, можно вычислить по формуле:

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

где t – среднее время экскурсии в часах; N – посещаемость пещеры в год (кол-во человек).

$$E = 170 \times 3600 \times 100000 = 61\,200\,000\,000 \text{ Дж.}$$

Учитывая, что 1 ккал = 4,1868 Дж получим: $E = 14,6 \times 10^6$ ккал.

Основной поток экскурсантов посещает пещеру в летний сезон на протяжении 120 суток. Таким образом, за сутки в туристский сезон за час вследствие посещаемости поступает приблизительно $0,12 \times 10^6$ ккал.

Анализ климатических характеристик (данные отчетов по изучению климата карстового массива Чатырдаг, микроклимата пещер Мраморная и Эмине-Баир-Хосар) показывает, что летом с атмосферным воздухом в пещеру поступает $1,89 \times 10^6$ ккал; за счет конденсационных процессов – $2,47 \times 10^6$ ккал, вследствие нагревания, обусловленного увеличением плотности нисходящих потоков воздуха, – $0,12 \times 10^6$ ккал, вследствие нагревания инфильтрационными и инфлюационными водами – $0,32 \times 10^6$ ккал, за счет теплового потока из недр Земли – $0,52 \times 10^6$ ккал. Суммарный показатель равен $5,32 \times 10^6$ ккал/сутки. Сопоставив значения, получим, что количество тепла за счет посетителей составляет 2,25 % от общей суммы, что в свою очередь не может серьезно влиять на тепловой баланс пещеры. Исходя из приведенных выше расчетов, можно сделать вывод, что увеличение посещаемости до максимально зарегистрированной величины (230 тыс. чел.) существенно не изменит тепловой баланс пещеры. Но следует отметить, что тепло, выделяемое посетителями, повышает температуру воздуха в окрестностях экскурсионной дорожки, время восстановления температуры после прохождения группы составляет нескольких десятков минут. Исследования, проведенные в экскурсионной пещере Фрассаси (Италия), посещаемость которой составляет 500 тыс. чел./год свидетельствуют о постепенном накоплении тепла вследствие техногенной нагрузки и повышением температуры в экскурсионных залах на несколько градусов [7]. Данные факты указывают на необходимость дальнейших исследований в этом направлении.

Режим температуры. Для выяснения степени влияния посетителей на режим влажности пещеры были определены основные причины, формирующие данный параметр. Анализируя данные стационарно-маршрутных наблюдений, установлено, что главными причинами, формирующими режим температуры и влажности пещерных залов, является отдаленность от входа и абсолютные отметки рельефа пещеры (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1

Морфометрические характеристики точек наблюдений за микроклиматом
в пещере Мраморная

Точки наблюдений	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Морфологические характеристики									
Отдаленность от входа горизонтально, м	0	25	80	110	125	145	185	180	270
Отдаленность от входа горизонтально + вертикально, м	0	32	104	146	153	172	200	226	339
Глубина залегания дна пещеры, м	0	7	24	36	28	27	15	46	69
Высота пещеры, м	0	2	7	13	5	5	4	12	14
Мощность известняковой кровли, м	0	5	17	23	23	22	11	34	55
Абсолютная отметка, м	920	915	906	897	905	900	903	894	880

Таблица 2

Средние температуры в точках наблюдений пещеры Мраморная (°С)
за период 18.11.97 – 31.05.98

Пещера	Точки наблюдений								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мраморная	4,69	8,11	8,29	8,35	8,37	9,56	9,45	8,41	8,42

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между температурными показателями пещеры Мраморная и её морфометрическими характеристиками в точках наблюдений

Морфометрические характеристики пещеры	Температура						
	За весь период	За теплый период	За холодный период	Min	Max	СКО*	Среднее абсол. значение
Отдаленность от входа горизонтально, м	0,55	-0,6	0,63	0,75	-0,54	-0,67	0,62
Отдаленность от входа горизонтально + вертикально, м	0,50	-0,63	0,61	0,78	-0,56	-0,67	0,61
Глубина залегания дна пещеры, м	0,23	-0,66	0,44	0,68	-0,55	-0,59	0,48
Высота пещеры, м	0,17	-0,70	0,42	0,51	-0,56	-0,58	0,44
Мощность известняковой кровли, м	0,25	-0,64	0,44	0,70	-0,52	-0,57	0,48
Абсолютная отметка, м	0,41	0,68	-0,57	-0,77	0,58	0,66	0,58
Среднее (абс. значение)	0,35	0,65	0,52	0,70	0,55	0,62	-

СКО* - среднее квадратическое отклонение за период наблюдений

Выявленные с помощью корреляционного анализа и отраженные на графиках и в таблицах закономерности микроклимата пещеры Мраморная свидетельствуют о природном характере его суточных и сезонных изменениях. Таким образом, данный факт свидетельствует о незначительном влиянии экскурсионного потока на температуру и влажность воздуха пещер. Но следует отметить и обратную связь, изменение морфологии полости, обусловленное оборудованием экскурсионных трасс, может привести к значительным изменениям микроклимата, что необходимо учитывать при расчете пропускной способности.

Газокомпонентный состав воздуха пещеры. Поток посетителей в пещере является причиной химического загрязнения, заключающееся в выделении диоксида углерода (CO_2). Данный параметр газокомпонентного состава воздуха является наиболее важным фактором лимитирующим пропускную способность пещеры, так как увеличение концентрации CO_2 может повлиять на химическое равновесие пещерных вод, минеральных образований, создавать концентрацию опасную для людей [8]. Концентрация CO_2 пропорциональна количеству посетителей и времени их пребывания в пещере:

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

$C(t)$ – изменение концентрации CO_2 (в промилле) за время t ;

N – количество посетителей;

t – время пребывания посетителей (час);

V – объем пещерного зала (м^3).

В периоды интенсивного посещения пещеры Мраморная в галерее Сказок (объем 5020 м^3) в дневные часы постоянно находится около 50 человек. Приведенные расчеты показали, что концентрация CO_2 на этом участке за 10 часов работы должна повысится на 1,7 об.%. Имеющийся воздухообмен с поверхностью и большими залами снижает в несколько раз прирост 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. Содержание углекислоты плавно увеличивается от 0,07 об.% на поверхности до 0,92 об.% в дальней части пещеры Мраморная. При таком же плавном увеличении концентрации углекислоты от входа к отдаленным частям пещеры наблюдается в конце курортного сезона (август месяц) резкое повышение концентрации до 0,6 об.% в экскурсионной части. Увеличение единовременного количества посетителей в отдельных залах пещеры до 100 человек и соответственно повышение концентрации согласно санитарно-гигиеническим нормам до 1 об.% является предельно допустимым параметром рекреационной ёмкости.

Таким образом, посещаемость туристских спелеокомплексов нарушает естественный ход микроклиматических процессов в экскурсионных пещерах. В результате комбинированного эффекта могут измениться отдельные микроклиматические

условия пещеры, что в свою очередь приведет к нарушению естественного равновесия подземного ландшафта.

Для определения рекреационной емкости пещеры, установления научно-обоснованного режима работы и функционирования туристско-экскурсионного спелеокомплекса в целом, необходима организация режимных балансовых микроклиматических исследований.

Список литературы

1. Вахрушев Б.А., Топоркова Е.А. Обобщение мирового опыта по созданию и функционированию карстово-спелеологических национальных парков и туристско-экскурсионных спелеокомплексов // Научные записки Винницкого гос. пед. университета. Серия: География – Винница, 2001. – Вып. 2. – С. 24-31.
2. Максимович Г.А. Туристские пещеры мира и их посещаемость // Исследование карстовых пещер с целью использования их в качестве экскурсионных объектов. – Тбилиси, 1978. – С. 29-32.
3. Лукьяненко Е.А. Влияние антропогенных факторов на подземный ландшафт спелеокомплекса “Пещера Мраморная” // Культура народов Причерноморья. – 2001. – №17. – С. 20-23.
4. Шутов Ю.И. (отв. исп.) Выполнить эколого-геологическое изучение экскурсионных пещер Мраморная и Эмине-Баир-Хосар на Чатырдаге с целью определения технической нагрузки. Отчет, кн.1. Текст отчета. УДИМР, Симферополь, 1998. – 115 с.
5. Лукин В.С. Температурные аномалии в пещерах Предуралья и критический анализ теорий подземного холода // Пещеры. – Пермь, 1965. – Вып. 5/6. – С. 164-172.
6. Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Амеличев Г.Н., Шутов Ю.И. Красная пещера. Опыт комплексных карстологических исследований: Монография / Под ред. В.Н. Дублянского. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – 190 с.
7. Рыбин В.Ф. (отв. исп.) Гидрофизические и микроклиматические исследования Зверинецких пещер с целью обоснования мероприятий по их экскурсионному освоению и сохранению.– К.: ИГН АН УССР, 1991. – 121 с.
8. Шутов Ю.И. Условия термодинамического равновесия: минерализация воды – газовый состав воздуха в пещере // Вопросы карстоведения. – Пермь, 1970. – Вып. 2. – С. 148-152.

Статья поступила в редакцию 23.01.2003 г.