УДК 551.44

А.А.ГОРОДЕЦКИЙ[1], О.Н.КОТЛОВ[2], К.М.ПОКРОВСКИЙ[3]
[1]СПбГУ, физический факультет, студент группы 214
[2,3] СПГГИ (ТУ), геолого-разведочный факультет
студенты группы соответственно РГГ-98 и РГИ-97

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ВОРОНЦОВСКОЙ ПЕЩЕРНОЙ СИСТЕМЕ

Воронцовская пещерная система расположена в Сочинском районе примерно в 18 км от побережья Черного моря. Пещерная система относится к крупнейшим пещерам России, заложенным в известняках. Общая протяженность пещеры более 11,1 км. Пещера имеет 10 известных входных отверстий. Перепад высот расположения отверстий более 225 м.

Актуальность исследования воздушных потоков в пещерной системе в практическом плане связана с экскурсионно-туристическим освоением пещеры и анализом тех санитарно-гигиенических условий, в которые попадают экскурсанты при посещении пещеры. В научном плане исследование воздушных потоков представляет интерес с точки зрения выяснения вопроса о влиянии этих потоков на процессы, протекающие в пещерной системе. В результате экспедиционного исследования в августе 2000 г. было установлено, что общее количество воздуха, проходящего через основную часть пещерной системы в летнее время, достигает 17000 м^3/ч. Количество конденсационной влаги оценено в 130 л/ч. Минимальное количество известняка, растворяемого конденсационной водой, оценивается в 45 кг/год, что может оказывать влияние только на морфологию наиболее древних полостей пещеры. Было обнаружено также, что воздух, проходящий по известным входным отверстиям основной части пещеры, является исходящим, что заставляет предполагать наличие неизвестного в настоящее время входного отверстия, по которому поступает воздух.

Исследование поддержано грантом программы «Интеграция» РФ.

The cave system **Vorontsovskaya** is situated in Sochi region, approximately in 18 km from the Black Sea coast. This cave system belongs to the largest caves of Russia, which are laid in limestones. The total length of the cave is more than 11,1 km. It has 10 known inlets. The drop in altitude of the inlet's location is more than 225 m.

The topicality of the study of air streams in the cave system in practice is connected with touristic exploration of the cave and with the analysis of those hygiene and sanitary conditions which tourists encounter when they visit the cave. The study of air streams is of great interest from the scientific point of view, because it helps to find out whether they influence the processes that take place in the cave. During the research expedition in August 2000 it was discovered that the total amount of the air, which comes through the main part of the cave system in summer reaches 17000 m^3/hr. The amount of condensate water is evaluated as 130 litres/hr. The minimum amount of the limestone which is soluted by condensate water is 45 kg per year, which can influence only the morphology of the most ancient полости of the cave. It was also discovered that air passing through the known inlets of the main part of the cave is outgoing, which makes us suggest the existing of the unknown at the moment inlet for the air to come in.

The research is supported by the federal grant of the programme «Integration» (Russian Federation).

Воронцовская пещерная система расположена в Сочинском районе, примерно в 18 км от побережья Черного моря. Пещера имеет 10 известных в настоящее время входных отверстий и значительную протяженность галерей. Если при этом учесть, что высоты расположения входных отверстий различаются более чем на 225 м, то становится ясно, что в пещерной системе должны существовать мощные воздушные потоки сезонного характера. Воздушные потоки в летний период приносят в пещерные полости влажный воздух, в результате чего происходит интенсивная конденсация паров на стенах полостей, что, в свою очередь, приводит к растворению известняка и, как следствие, влияет на морфологию пещерных полостей, особенно наиболее древних. Проветривание пещерных полостей определяет также концентрацию радона, что представ-

ляет особую актуальность ввиду экскурсионного освоения пещеры и тесно связано с вопросом о гигиенических условиях, в которые попадают экскурсанты. Известная в настоящее время общая протяженность Воронцовской пещерной системы составляет примерно 11,1 км. Большое количество входных отверстий и разное высотное их положение определяет сложный характер воздушных потоков в галереях пещеры. В летний период, когда температура на дневной поверхности значительно выше, чем в пещере, движение воздуха происходит в направлении от высокорасположенных отверстий к более низким; в зимний период воздух движется в обратном направлении. Направление воздушных потоков определяется разностью температур (и плотностей воздуха) вне и внутри пещеры.

Инструментальные наблюдения скоростей воздушных потоков проведены в ходе Жилина, а также во входном отверстии «Лабиринтовая» и в галерее «Метро» (несколько точек измерения), а также вблизи сифона пещеры «Лабиринтовая». Выбор точек для измерения определялся тем, что в указанных местах скорость воздушного потока весьма значительна и, как следствие, могла быть определена с наименьшей относительной погрешностью.

Воздушный поток во входном отверстии «Лабиринтовая» в летний период (август 2000 г.) был исходящим из пещеры. Температура воздуха, исходящего из пещеры, +9,3 °С (температура наружного воздуха +27,2 °С).

Вторым местом измерений скорости воздушного потока был ход Жилина. Наблюдался мощный воздушный поток, исходящий из пещеры. Отметим еще раз, что ход Жилина и предсифонный участок «Лабиринтовый» являются единственными известными отверстиями из большей части Воронцовской пещерной системы, и так как оба воздушных потока являются исходящими из пещеры, то неизбежно должен существовать приток воздуха по неизвестным в настоящее время каналам, соединяющим пещерную систему с дневной поверхностью.

Третьим местом измерения скорости воздушного потока была галерея «Метро» и контактирующий с ней ход в «Колонный зал». Наблюдения направления воздушных потоков в этих местах позволяют локализовать область притока только частью пещерной системы, связанной с Лабиринтовым участком.

Измерения скорости воздушных потоков проводились с помощью шариков, укрепленных на тонком подвесе. Измерялось отклонение шарика от вертикали, вызванное воздушным потоком, и по этим измерениям определялась сила, действующая на шарик, а следовательно, и скорость воздушного потока.

В условиях наших измерений число Рейнольдса $\mathrm{Re} > 2000$, т.е. течение газа турбулентное. Для силы, действующей на шарик в турбулентном воздушном потоке, в классической аэродинамике известна формула

$$F = C\frac{\rho S v^2}{2},$$

где ρ – плотность воздуха; S – площадь сечения шарика; C – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления тела, для шарика он равен примерно 0,5; v – скорость турбулентного потока.

Скорость движения воздушного потока может быть связана с величиной отклонения подвеса шарика от вертикали:

$$v = \sqrt{\frac{2mgd}{C\rho Sl}},$$

где m – масса шарика; g – ускорение свободного падения; d – величина отклонения подвеса от вертикали; C – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления тела; ρ – плотность воздуха; S – площадь сечения шарика; l – длина подвеса.

Поскольку течение воздуха турбулентное, средняя скорость примерно одинакова во всех точках сечения пещерного хода, за исключением самых ближних к стенкам. Зная площадь сечения, можно найти объем воздуха, проходящего через сечение пещерного хода за единицу времени:

$$V = \Omega v,$$

где Ω – площадь сечения хода пещеры.

По нашим измерениям, в район пещерной системы, ограниченный ходом Жилина и открытым сифоном пещеры «Лабиринтовая», поступает примерно 17 тыс.м^3/ч влажного воздуха. Эта величина определяется по измерениям истекающего из пещерного района воздуха. Место притока воздуха, как указывалось ранее, в настоящее время не известно.

Оценка объема конденсационной воды, образующейся за сутки, проведена для района Воронцовской пещерной системы, ограниченного с одной стороны ходом Жилина, а с другой – открытым сифоном пещеры «Лабиринтовая».

В период измерений (25.07-19.08. 2000 г.) среднесуточная температура на поверхности составляла 26 °С при относительной влажности 70-75 % (исключением являлся трехдневный период с практически непрерывными дождями, когда относительная влажность была значительно выше). Ввиду непостоянства температурных и влажностных условий на дневной поверхности, определение объема конденсационной влаги может быть проведено только оценочно по средним параметрам. Для приведенных выше средних параметров в воздухе вблизи пещеры содержание водяных паров составляло примерно 24·0,7 = 17 г/м^3.

В пещерных полостях температура была примерно 10 °С при 99-100 % влажности воздуха, что соответствует 9,3 г/м^3 водяных паров. Таким образом, из каждого кубического метра воздуха, поступающего в пещерные полости, образуется примерно 7,7 г водяного конденсата.

В район пещерной системы, ограниченный ходом Жилина и открытым сифоном пещеры «Лабиринтовая», по нашим измерениям, поступает примерно 17000 м^3/ч влажного воздуха.

Таким образом, общее количество конденсационной воды, которая образуется из всей массы воздуха, поступающего в исследуемый район пещерной системы,

$$7{,}7 \text{ г/м}^3 \cdot 17000 \text{ м}^3/\text{ч} = 130 \text{ кг/ч}.$$

За сутки количество конденсационной воды составит примерно 3000 кг. Хотя приведенные данные носят оценочный характер, они показывают, что процессы проветривания пещерных полостей приводят к образованию значительных объемов конденсационной воды. Отметим в заключение, что приведенные оценки относятся только к летнему периоду.

Выводы

Впервые проведены количественные измерения скоростей воздушных потоков в Воронцовской пещерной системе. Показано, что в летний период объем воздуха, поступающего в пещерную систему, достигает 17 тыс. м^3/ч.

Проведена оценка количества конденсационной воды, образующейся в пещерных полостях, которая достигает 130 л/ч.

Показано, что в пещерной системе должно существовать либо еще одно входное отверстие, либо развитая система трещин, по которым поступают воздушные массы.

Научный руководитель доцент, к. ф.-м. н. *В.Л.Федоров*