

вых рассолов вдоль этих границ. Последние, в свою очередь, «запускали» процессы гравитационно-рассольных катагенетических преобразований [2] – выщелачивание, приводящее к увеличению пустот, вторичное минералообразование, в целом уменьшающее объем пустотного пространства пород и т.д. Дополнительным источником флюидов мог служить палеозойский щелочной магматизм региона.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы УрО РАН,
проект № 15-10-5-13.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы: (Стратиграфия, история развития). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 148 с.: ил.
2. Холодов В.Н. Новое в познании катагенеза. Сообщение 1. Инфильтрационный и гравитационно-рассольный катагенез // Литология и полезные ископаемые. – 1982. – № 3. – С. 3-22.

УДК 622.4:551.521.2

DOI:10.7242/echo.2019.3.3

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ХОЛОДНОГО ВОЗДУХА И РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЕ В ПЕРИОД 2018-2019 гг.

М.В. БЛАМЫКОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В данной статье рассматриваются результаты мониторинговых работ в Кунгурской Ледяной пещере в период 2018-2019 г. Увеличение количества поступающего воздуха, при отрицательной температуре, является актуальной задачей по снижению температуры ближе к центру пещеры. С этой целью был сооружен вентиляционный канал, благодаря которому удалось увеличить количество ледяных кристаллов в привходовой части пещеры.

Особое значение в мониторинговых работах отдается замерам радиационного фона. Главными источниками радиации являются дочерние продукты распада радона. Радионуклиды попадают вместе с вдыхаемым воздухом и при больших концентрациях представляют угрозу для человеческого организма. С целью обеспечения безопасности по радиационному фактору были произведены замеры радона прибором РАМОН 02, а также анализ радиационного фона с помощью дозиметра. В результате были выявлены превышения, как по концентрации радона, так и общего радиационного фона.

Ключевые слова: Кунгурская ледяная пещера, вентиляция, воздух, скважина, радиация, радон, мониторинг.

Введение. Кунгурская Ледяная пещера является уникальным геологическим памятником природы и старейшей экскурсионной пещерой в России. Находится пещера на юго-востоке Пермского края, на северо-восточной окраине г. Кунгура, на правом берегу р. Сылва [1]. Одной из главных достопримечательностей Кунгурской Ледяной пещеры являются ледяные образования. Проветривание Кунгурской пещеры осуществляется методом естественной тяги, воздух здесь перемещается за счет гравитационных сил и при наличии разности высотных отметок устьев; направление потока зависит от разности наружной температуры и внутри гротов.

При температуре окружающей среды менее 0°C поверхностный воздух начинает активно поступать в пещеру через Старый лаз, входной и выходной тоннели, а также через трещины в массиве Ледяной горы.

Изменения в вентилировании пещеры. Холодный воздух, поступая в пещеру с поверхности, начинает свое движение вглубь пещеры. Более мощная струя отмечена на входе в пещеру. Она формируется посредством трех основных притоков с поверхности: из входного тоннеля и естественного входа. Этот поток движется до грота склеп, где делится надвое: одна его часть продолжает движение в направлении грота Крестовый, другая – в направлении грота Западный. Воздух, движущийся через грот Крестовый, устремляется далее в направлении грота Центральный (рис. 1).

Поток, проходящий через грот Западный, достигает грота Грозный, где в очередной раз делится на два: часть его продолжает движение в направлении грота Геологов, часть – в направлении грота Смелых. В гроте Центральный происходит разгрузка потоков воздуха со стороны гротов Коралловый и Смелых через вентиляционную скважину, часть потока продолжают движение в направлении грота Дружбы Народов. Очевидно, грот имеет аэродинамическую связь с поверхностью, так как часть входящей струи, направляющейся в грот Хлебниковых, удаляется на поверхность. В гроте Хлебниковых происходит слияние потоков воздуха из грота Дружбы Народов и Геологов. Этот поток воздуха движется в сторону грота Длинный, где встречается с воздухом, двигающимся со стороны выходных штолен, и удаляется в сторону заповедной части Кунгурской Ледяной пещеры.

В целях сохранения ледяного покрова, восстановления благоприятных условий для роста сублимационных кристаллов в феврале 2018 г. был сооружен искусственный вентиляционный канал. Поступление холодного воздуха в зимний период способствует увеличению площади распространения сублимационных кристаллов и сохранению многолетнего ледяного покрова.

Для повышения эффективности проветривания и увеличения зоны оледенения в более дальних гротах от входа, в ноябре 2018 г. была пробурена вентиляционная скважина глубиной 73 метра с выходом в гроте Центральный.

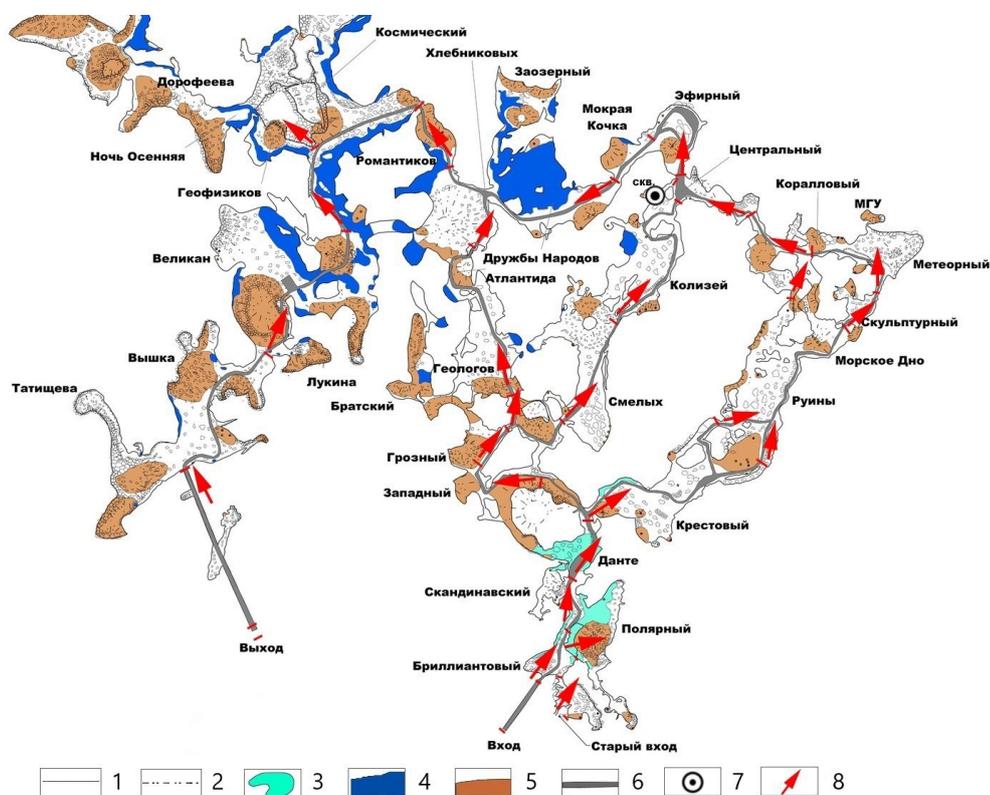


Рис. 1. Схема движения воздуха в Кунгурской Ледяной пещере.

1 – контур пещеры; 2 – осыпи; 3- ледяные образования; 4 – озера; 5 – глина; 6 – экскурсионная тропа; 7 – вентиляционная скважина; 8 – направление движения воздуха в пещере

В соответствии с регламентом проветривания в зимний период в 2018-2019 гг. в пещере использовался III режим проветривания (во входном тоннеле шлюзовые двери открыты, в выходном закрыты). Съёмка скоростей и фиксация направлений движения воздуха производилась при температуре воздуха на поверхности -20°C .

Для определения скорости воздушного потока использовался анемометр Testo 417. Поперечные сечения ходов пещеры, расположение точек замеров и замеры скоростей без вентиляционной скважины были взяты из отчета «Воздушно-депресссионной съемки», проведенной в 2018 г. (табл. 1).

В ходе замеров скоростей воздушного потока после обустройства скважины и дополнительного вентиляционного канала во входном тоннеле, были зафиксированы из-

менения расхода воздуха в гроте Данте с 443 м³/мин до 591 м³/мин. Изменения были замечены и в перемещении воздушной струи, ранее воздух большей частью двигался по большому кольцу, сейчас Большая часть 60 – 70 % идет по Малому кольцу через проход Горе Толстяков, скорость воздуха на этом участке увеличилась с 0,61 м/с до 0,91 м/с. Для поступления большего количества воздуха по Большому кольцу было решено соорудить перемышку у входа в лаз Горе Толстяков, вследствие чего удалось перенаправить воздушный поток, который устремился вглубь пещеры по Большому кольцу, через грот Крестовый до грота Центральный.

В результате следующих замеров было зафиксировано изменение скоростей воздушного потока:

- Озорные повороты: 0,57 м/с – 1,05 м/с.
- Переход грот Морское Дно — грот Скульптурный: 0,52 – 0,76 м/с.
- Переход грот Скульптурный — грот Метеорный: 0,48 – 0,69 м/с.
- Переход грот Метеорный — грот Коралловый: 0,32 – 0,54 м/с.
- Входящая скорость воздуха, поступающего в вентиляционную скважину и удаляющегося на поверхность, изменилась с 0,81 до 1,02 м/с.

Установка вентиляционного канала из входного тоннеля в грот Бриллиантовый позволила восстановить крупные сублимационные кристаллы на своде и стенах грота Бриллиантовый, сохранить крупные кристаллы льда в гроте Полярный, а также увеличить количество ледяных кристаллов в гроте Крестовый [7].

Таблица 1

Характеристика скоростей и расходов воздуха на замерных станциях с вариантами проветривания без вентиляционной скважины и с её использованием

№	Название	Площадь сечения, м ²	2018 г.		2019 г.	
			Скорость, м/с	Расход воздуха м ³ /мин	Скорость, м/с	Расход воздуха м ³ /мин
1	Перед входом в пещеру	8,97	0,35	188	0,45	242
2	Входной тоннель	2,99	0,54	97	0,62	111
3	Телячий ходок	1,12	0,17	11	0,15	10
4	Старый вход	1,82	1,19	130	1,2	131
5	Грот Бриллиантовый в 1,5 м в сторону Полярного грота	3,1	0,87	162	0,9	167
6	Вход в грот Данте	14,48	0,51	443	0,68	591
7	Перед развилкой на Малое кольцо	7,08	0,68	289	0,85	361
8	Проход Горе Толстякам и Высоким	5,03	0,61	184	0,91	275
9	Грот Грозный	0,55	0,34	11	0,87	29
10	Проход грот Грозный и Западный	8,19	0,42	206	0,46	226
11	Вход в грот Геологов	3,81	0,33	75	0,36	82
12	На выходе из грота Атлантида	2,13	0,15	19	0,17	22
13	Вход в грот Смелых со стороны грота Геологов	1,95	0,21	25	0,24	28
14	Проход между гротами Смелых и Коллизей	1,22	0,17	12	0,2	15
15	Переход грот Крестовый — грот Руины	1	0,19	11	0,16	9
16	Ход Озорные Повороты	3,23	0,51	99	0,57	110
17	Ход №2 из грота Руины в грот Коралловый	2,5	0,24	36	0,17	26
18	Переход грот Морское Дно — грот Скульптурный	4,08	0,44	108	0,52	127
19	Переход грот Скульптурный — грот Метеорный	4,06	0,48	117	0,48	117
20	Переход грот Метеорный — грот Коралловый	1,8	0,32	35	0,32	35
21	Переход грот Коралловый – грот Центральный	2	0,34	41	0,34	41
22	Грот Центральный — вход на Малое кольцо	5,94	0,13	46	0,15	53
23	Грот Центральный — вход на Малое кольцо	1,39	0,27	23	0,27	23
24	Переход грот Центральный — грот Эфирный	4,52	0,31	84	0,28	76
25	Вентиляционная скважина	–	–	–	0,81	–
26	Органная труба в гроте Эфирный	7,84	0,2	94	0,23	108
27	Переход грот Мокрая Кочка — грот Дружбы Народов	4,17	0,37	93	0,38	95

Мониторинг радиационного фона в Кунгурской Ледяной пещере является основополагающим по обеспечению безопасности, как для экскурсантов, так и для сотрудников, задействованных в рабочей деятельности пещеры. Воздействие радиации на организм может быть различным, но почти всегда оно негативно.

Особенность повышенного гамма – фона в пещере связана с излучением дочерних продуктов распада радона. Радон – невидимый, не имеющий вкуса и запаха, тяжелый газ в 7,5 раза тяжелее воздуха [2]. Он является α – активным изотопом с периодом полураспада 3,8 дня и образует короткоживущие изотопы полония, свинца и висмута, которые в виде твердых частиц оседают на аэрозолях воздуха [4]. Большую часть дозы облучения человек получает от радионуклидов, попадающих в организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в закрытых непроветриваемых помещениях. Радон имеет способность мигрировать по системам пор и трещин в горных породах и накапливаться в подземных полостях естественного и искусственного происхождения. В летний период в условиях движения воздушных потоков из глубины гротов к выходам, концентрация радона в несколько тысяч раз больше, чем на поверхности. Изотопы радона и аэрозоли короткоживущих дочерних продуктов радона и торона могут давать заметный вклад в облучение работников на рабочих местах.

В качестве исследования в летний период были произведены измерения гамма- (рентгеновского) излучения дозиметром – радиометром МКС-01СА1 по всему маршруту экскурсионной тропы в Кунгурской Ледяной пещере.

Основным методом определения мгновенной концентрации радона являются измерения радиометром радона и его дочерних продуктов распада «Рамон-02», который предназначен для определения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в воздухе. Измерения ЭРОА радона заключаются в отборе аэрозолей дочерних продуктов распада радона на аэрозольные фильтры АФА-РСР-20. в следующих гротах: Бриллиантовый, Полярный, Данте, Крестовый, Руины, Морское Дно, Метеорный, Центральный, Эфирный, Дружбы Народов, Хлебниковых, Романтиков, Длинный, Великан, Лукина, Вышка.

В гротах с температурным режимом отрицательной температуры показания прибора изменялись от 0,35 до 0,8 мкЗв/ч. По мере продвижения к центральной части пещеры и повышения температуры выше 0°С показания прибора изменялись до 8 мкЗв/ч. Максимальное значение прибор показывал в гроте Лукина 10,2 мкЗв/ч. Столь высокие показания прибора могут быть связаны с тем, что, спустя 20-30 минут пребывания в пещере, существенный вклад в измеряемое значение дает излучение радионуклидов, оседающих в виде аэрозолей на датчик дозиметра и на одежду дозиметриста. За время исследования в 60 минут накопленная доза составила 4,7 мкЗв.

Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 регламентируется, что безопасным считается мощность облучения до 0,57 мкЗв/ч. Но это верхний предел, для человека наиболее безопасный уровень должен быть в два раза меньше – до 0,2 мкЗв/ч. Сократив время непрерывного нахождения до нескольких часов – люди могут без особого вреда своему здоровью перенести излучение мощностью в 10 мкЗв/ч.

Среднее содержание радона и торона составило 1225 Бк/м³ и 27 Бк/м³ соответственно. Минимум концентрации радона и торона 614 Бк/м³ и 12 Бк/м³ зафиксировано в гроте Романтиков. Максимум радона 2465 Бк/м³ зафиксирован в гроте Руины. Максимальная концентрация торона 39 Бк/м³ зафиксирована в гроте Дружбы Народов.

Сравнение полученных максимальных значений радиационных факторов 2018 г. со значениями, зарегистрированными в летний период 2006 г. в Кунгурской Ледяной пещере, показало изменение концентрации радона и торона, а также существенные различия гамма излучений [5] (табл. 2).

Таблица 2

Максимальные значения радиационных факторов, зафиксированные в летний период

Наименование фактора	Замеры 2006 г.	Замеры 2018 г.
ЭРОА радона	8023 Бк/м ³	2465 Бк/м ³
ЭРОА торона	24 Бк/м ³	39 Бк/м ³
Гамма-излучение	0,78 мкЗв/ч	4,7 мкЗв/ч

За рубежом разработаны и используются критерии радиационной безопасности. Так если в воздухе содержится 3700 Бк/м³, то величина скрытой энергии будет около 1,3·10⁵ МэВ/л. Эта величина носит название «рабочий уровень» (Working Level – WL).

Средняя равновесная концентрация радона по измерениям в Кунгурской Ледяной пещере составляет 0,33 WL, максимальная 0,67 WL, минимальная 0,17 WL. Сравнимая полученные значения с критериями радиационной безопасности пещер запада. При значениях WL >0,3 строго регламентируется делать еженедельные замеры и вести учет накопленной дозы для всех работников [4].

Вывод. В соответствии с нормами радиационной безопасности применяемых в России, полученных данных измерений недостаточно для объективной оценки радиационной обстановки в Кунгурской Ледяной пещере. Концентрация радона будет изменяться от времени года и направления движения воздуха. Так же на степень облучения скажется и время нахождения работников в пещере.

Для более точной оценки эффективной дозы облучения следует продолжить радиологический мониторинг в пещере с частотой замеров активности радона не менее одного раза в месяц. Для большей достоверности определения влияния радиационной обстановки на сотрудников, производящих ту или иную деятельность внутри пещеры, выявить наиболее точное время нахождения сотрудников в Кунгурской Ледяной пещере за год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / ГИ УрО РАН; под ред. В.Н. Дублянского; [отв. ред. А.И. Кудряшов]. – Екатеринбург, 2005. – 376 с.: ил.
2. Радиация. Дозы, эффекты, риск: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 79 с.
3. Поносов В.А., Степанов Ю.И. Экологические аспекты радиоактивности Кунгурской Ледяной пещеры // Кунгурская Ледяная пещера. 300 лет научной и туристической деятельности: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ГИ УрО РАН [и др.]. – Кунгур, 2003. – С. 180-183.
4. Testov V., Shihov N., Kadebskaya O., Lavrova N., Pyatunin M., Khudenkikh K. Intermediate results of monitoring of radiation in Kungur Ice Cave // III International Workshop on ice caves. IWIC-III: Proceedings. – Kungur, 2008. – P. 120-121.
5. Кадебская О.И., Южанин А.С. Исследование газового состава воздуха в Кунгурской Ледяной пещере // Горное эхо. – 2009. – № 4 (38). – С. 28-34.
6. Кадебская О.И. Трушкова Н.А. Составление регламента проветривания Кунгурской Ледяной пещеры // Горное эхо. – 2009. – № 4 (38). – С. 35-41.

УДК 550.46:553.94

DOI:10.7242/echo.2019.3.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ ШАХТНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ И ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К O₂ И CO₂ АТМОСФЕРЫ

Н.Ф. ФЕТИСОВА

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье представлены результаты физико-химического моделирования нейтрализации кислых шахтных вод щелочным реагентом, состоящим на 90% из кальцита. В качестве объектов исследования были рассмотрены шахтные воды разливов шахт «Им. 40 лет Октября» и «Коспашская». Изменения pH и химического состава шахтных вод определялись пошагово, при последовательном добавлении в систему определенного количества моль кальцита. На основе моделирования было определено оптимальное количество реагента для нейтрализации кислых шахтных вод при условии растворения кальцита до состояния равновесия и осаждения вторичных минеральных фаз. Моделирование нейтрализации шахтных вод проводилось по двум сценариям: для условий открытой и закрытой систем по отношению к газам CO₂ и O₂ атмосферы.

Ключевые слова: моделирование, нейтрализация, определение количества реагента, парциальное давление O₂ и CO₂.

Ликвидация шахт Кизеловского угольного бассейна и последовавшая неконтролируемая разгрузка шахтных вод на земную поверхность привела к тяжелым экологическим последствиям [2]. Предложения по улучшению экологической ситуации были разработаны учеными ПГНИУ [2,3]. В качестве реагента для нейтрализации кислых шахтных вод было предложено использовать щелочные отходы Березниковского содового завода (БСЗ). Предлагаемый к использованию отход старой карты шламонакопителя на 90% состоит из тонкодисперсного карбоната кальция (pH 9-12) [2]. Авторами методики предлагается два варианта нейтрализации кислых шахтных вод с использованием отхо-