

# ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551.44

DOI:10.7242/echo.2024.1.1

## ОЦЕНКА МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЕ

А.С. Казанцева

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Оценка изменения микроклиматических показателей в Кунгурской Ледяной пещере проводилась путем сравнения данных, полученных в периоды 1951-99 и 2000-23 гг. Устойчивое повышение температуры воздуха на поверхности, изменения в режиме проветривания в пещере в последнее двадцатилетие привело к изменению температуры воздуха в разных микроклиматических зонах пещеры. Изменились среднегодовые и среднемесячные многолетние температурные параметры в гротах пещеры, динамика этих изменений различна.

**Ключевые слова:** Кунгурская Ледяная пещера, микроклиматический мониторинг, среднегодовая многолетняя температура, среднемесячная многолетняя температура.

Климатические условия на поверхности оказывают определяющее влияние на микроклимат Кунгурской Ледяной пещеры, обуславливая характер распределения температуры по ходу пещеры, направление и интенсивность циркуляции воздушных потоков в зависимости от времени года. Основная цель микроклиматического мониторинга в Кунгурской Ледяной пещере – определение температурных характеристик воздуха в гротах, поскольку температура является одним из важных параметров, позволяющих отслеживать и контролировать температурные условия и изменения в разных микроклиматических зонах. Система выполняемых наблюдений за метеорологическими параметрами позволяет поддерживать пещеру в естественном состоянии.

Первые измерения температуры воздуха на поверхности и в пещере произвел в 1733 г. профессор Петербургской Академии Наук И.Г. Гмелин. Данные, представленные в его рукописи, являются результатом одних из первых наблюдений за климатическими параметрами в карстовых полостях в мире. Первые метеорологические посты в пещере были оборудованы в 1934 г. сотрудниками партии «Гидростройпроект», а в 1948 г. метеорологические наблюдения в тех же точках продолжили сотрудники Кунгурского стационара [3]. Имеется непрерывный ряд измерений [1] температуры воздуха в Кунгурской Ледяной пещере в периодах 1974-92 гг., затем 1993-98 гг. и 1999-2012 гг. с годичными интервалами между этими периодами и внутригодовыми перерывами. С 2013 г. по настоящее время замеры температуры воздуха в гротах пещеры ведутся постоянно. До конца 2016 г. показания температуры воздуха измеряли термометрами ТМ-08, а далее была организована система автоматической фиксации температуры воздуха. В гротах установлены логгеры HOBO Water Temp Pro v220 (USA), которые фиксируют температуру раз в 60 минут (периодичность измерений можно регулировать). В настоящий момент программа микроклиматического мониторинга в пещере включает замеры температуры воздуха в 31 гроте, из которых 8 точек замера находятся в заповедной части пещеры.

В данной статье оценены микроклиматические изменения в пещере в некоторых гротах за многолетний период. Для сравнительной характеристики использованы температурные показатели в тринадцати гротах, опубликованные в монографии 2005 г. (период замеров 1951-99 гг.) [4] и полученные в этих же гротах за период 2000-23 гг. Для двух рассматриваемых периодов определены среднегодовые многолет-

ние, среднемесячные многолетние, максимальные и минимальные температуры воздуха в гротах пещеры.

Для пещеры характерны три микроклиматические зоны: зона постоянных отрицательных температур ( $t_{\text{ср}} \leq -2 - -1^{\circ}\text{C}$ ), переходная зона ( $t_{\text{ср}} \sim 0^{\circ}\text{C}$ , в течение года температура изменяется от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $+2^{\circ}\text{C}$ ), и зона постоянных положительных температур ( $t_{\text{ср}} \geq +2^{\circ}\text{C}$ ). В зоне постоянных отрицательных температур наблюдается неоднозначная ситуация (табл. 1): в гроте Бриллиантовый по данным 2000-23 гг. по сравнению с данными 2005 г. отмечено повышение температуры на  $0,7^{\circ}\text{C}$ , в то время как в гроте Данте температура воздуха стабильна. Среднегодовые значения температуры ( $t_{\text{ср}}$ ) в гротах зоны постоянных отрицательных температур варьируют из-за изменения климатических и погодных условий на поверхности. Средняя многолетняя температура, рассчитанная по среднесуточным температурам метеостанции г. Кунгура за период с 1926 по 2002 гг., составляет  $1,8^{\circ}\text{C}$  [2], по состоянию на 2013-23 гг. –  $4,4^{\circ}\text{C}$ . За последние десятилетия безморозных периодов стало больше, среднемноголетняя температура января повысилась на  $2,5^{\circ}\text{C}$  (на период 1926-91 гг. она составляла  $-14,8^{\circ}\text{C}$ , 2013-23 гг. –  $-12,3^{\circ}\text{C}$ ), среднемноголетняя температура июля за предшествующее время тоже повысилась на  $2,3^{\circ}\text{C}$ , (1926-91 гг. –  $+18,2^{\circ}\text{C}$ , 2013-23 гг. –  $+20,3^{\circ}\text{C}$ ).

Таблица 1

Среднегодовая многолетняя температура воздуха  
в Кунгурской Ледяной пещере в разные периоды,  $^{\circ}\text{C}$

	По данным 2005 гг.	По данным 2000-23 гг.	Микроклиматическая зона
Бриллиантовый	-3,7	-3,0	постоянных отрицательных температур
Данте	-2,0	-2,0	
Крестовый	-0,3	-0,5	переходная зона
Руины	1,8	1,6	постоянных положительных температур
Скульптурный	3,1	2,6	
Коралловый	3,8	3,9	
Центральный	4,3	4,3	
Смелых	1,9	1,9	
Геологов	3,5	2,8	
Дружбы Народов	5,0	5,0	
Длинный	3,8	4,8	
Великан	2,4	4,0	
Вышка	-0,3	2,8	

Анализ изменения среднемесячных температурных показателей в отдельных гротах разных климатических зон (рис. 1) показал, что в зоне отрицательных температур (грот Бриллиантовый) в настоящее время в зимний период наблюдается понижение температуры воздуха, в то время как в весенний, летний и осенний периоды наблюдается тенденция незначительного увеличения температур. За счет этого и происходит внутригодовое перераспределение температуры воздуха и отмечается общая тенденция ее среднегодового повышения.

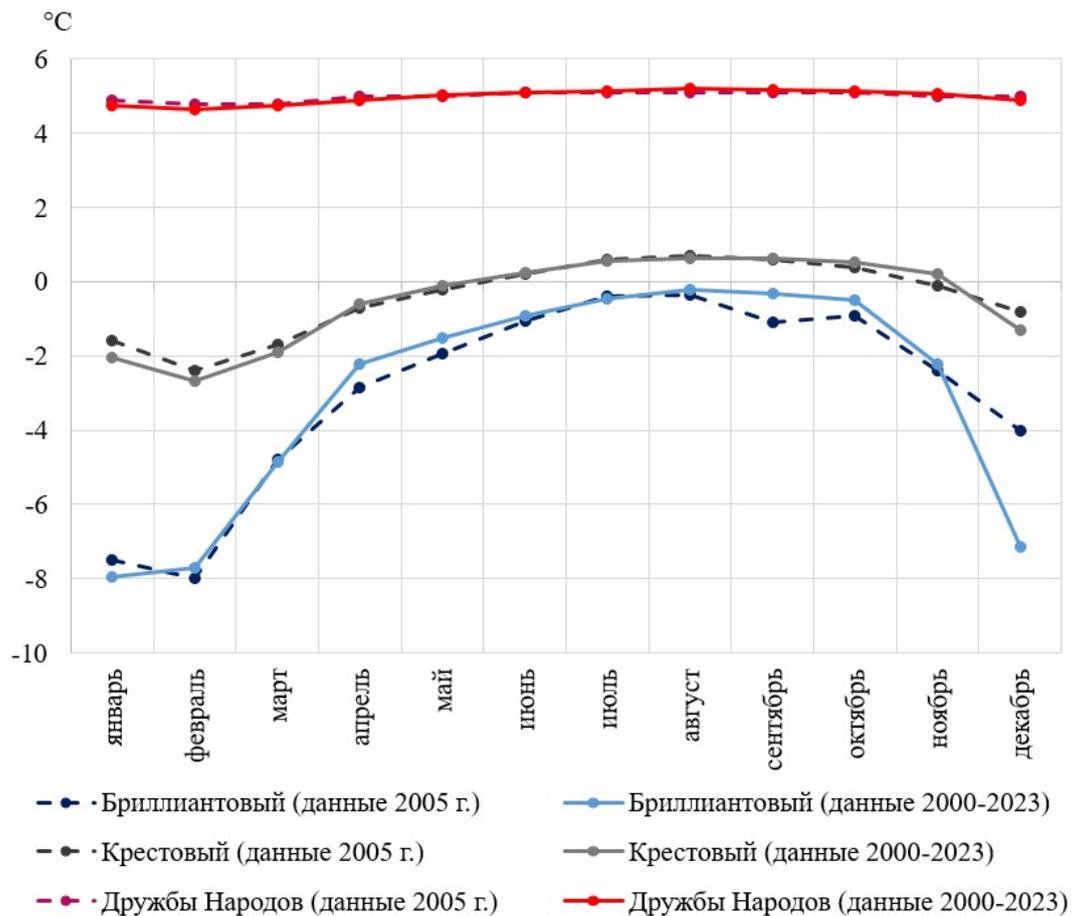


Рис. 1. Среднемесячные многолетние изменения температур в гротах разных микроклиматических зон

В переходной зоне и близких к ней гротах зоны постоянных положительных температур (гроты Крестовый, Руины, Скульптурный и Геологов) отмечен тренд понижения среднегодовых температур (табл. 1). В гроте Крестовый в зимне-весеннее время в период 2000-23 гг. фиксируются низкие значения температур по сравнению с предыдущим периодом исследований (рис. 1). В остальное время характер распределения температур неизменен.

При движении к центральной части пещеры (гроты Коралловый, Центральный, Дружбы Народов, Смелых) среднегодовая температура воздуха за последние двадцать лет не изменилась, что также прослеживается по среднемесячным значениям. Ближе к выходу из пещеры в настоящее время в гротах Длинный, Великан и Вышка наблюдается значительное повышение температурных параметров, это обусловлено изменением режима вентиляции. Вплоть до 2013 г. выходной тоннель в зимнее время открывали для охлаждения и промораживания пещеры, часть холодного воздуха поступала через грот Вышка. Поэтому температура воздуха в близлежащих к выходу гротах опускалась до отрицательных температур (табл. 2). Так, в декабре 1976 г. ( $-17,7^{\circ}\text{C}$ ) и феврале 2012 г. ( $-4,0^{\circ}\text{C}$ ) в гроте Вышка зафиксированы минимальные значения температур.

В пещере прослеживаются периоды с наибольшими и наименьшими температурными показателями в гротах (табл. 2). Так в периоды 1984-87 гг., 2000-01 гг. и 2023 г. в гротах пещеры зафиксированы максимальные отметки температуры воздуха, в 1956 г., 1977 г., 2009 г. и 2017 г. – минимальные отметки.

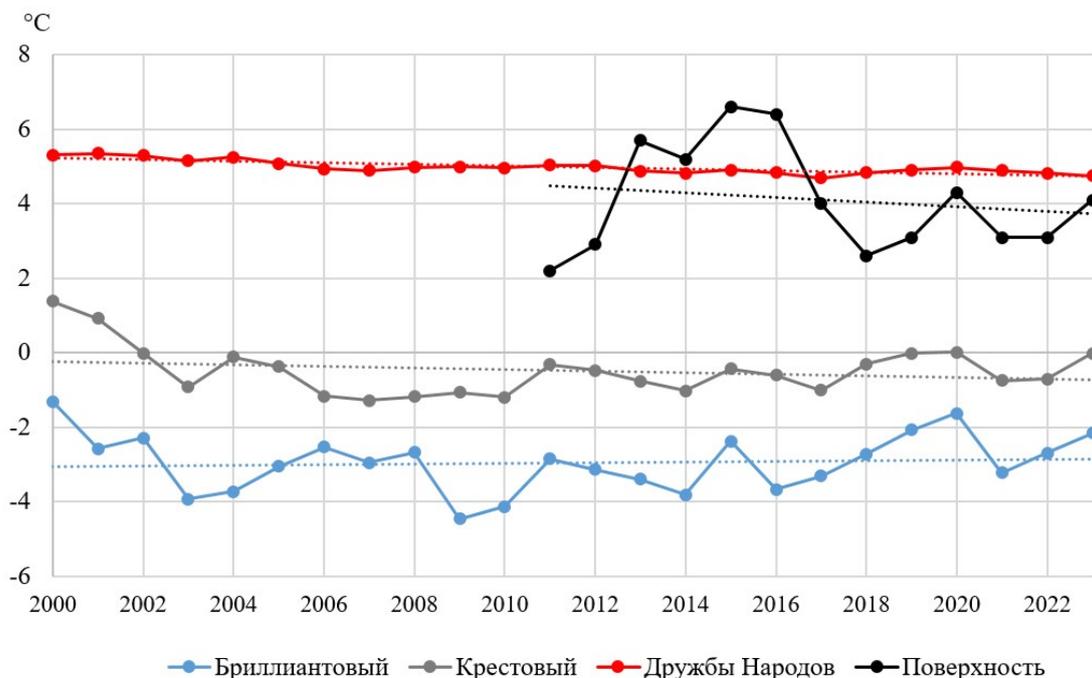
Также произведена оценка температурных показателей за последний двадцатилетний период (2000-23 гг.). К сожалению, данные по температуре воздуха на территории

г. Кунгура оказались неполными, но в настоящее время наблюдается устойчивое среднегодовое понижение температуры (рис. 2). В микроклиматической зоне отрицательных температур в Кунгурской Ледяной пещере ситуация практически стабильная, резких трендов не наблюдается. В нейтральной зоне и зоне положительных температур отмечается тренд понижения температуры.

**Таблица 2**

**Параметры температур воздуха в гротах Кунгурской Ледяной пещеры**

	До 2005 г.						2000-2023 гг.					
	Максимум		Минимум		Амплитуда		Максимум		Минимум		Амплитуда	
	Т-ра	Дата	Т-ра	Дата	Макс.	Мин.	Т-ра	Дата	Т-ра	Дата	Макс.	Мин.
Брил.	+0,1	08.84	-23,9	02.80	23,5	2,6	+0,8	06.00	-22,8	12.09	22,6	4,8
Данте	+0,0	08.35	-18,1	02.79	17,6	3,2	+0,6	09.00-01	-11,0	12.09	11,1	2,8
Крестов.	+1,8	04.90	-5,5	02.77	5,6	1,8	+3,0	06.00	-5,1	02.14	6,2	1,2
Руины	+3,2	08.84	-0,6	02.77	2,5	1,7	+4,6	09.00	-0,6	02.14	3,6	1,8
Скульп.	+4,4	09.87	0,0	02.77	3,7	1,1	+4,9	09.00	-0,1	02.17	3,6	1,9
Корал.	+5,2	06.84	+1,6	02.77	1,8	0,6	+5,0	08.01;09.01; 11.01;04.02	+2,5	02.17	1,4	0,4
Центр.	+5,1	09.76	+2,7	02.56	1,3	0,3	+5,0	08.23	+3,9	02.17; 03.17;04.17	0,6	0,2
Смелых	+3,1	07.52	-1,4	04.56	2,7	0,4	+2,9	09.22	-0,1	02.17	2,1	0,7
Геол.	+4,8	09.77	+1,9	02.77	2,9	0,8	+4,6	08.23	+0,5	02.17	2,8	0,5
Др.Нар.	+5,4	09.85	+4,2	03.56	0,9	0,1	+5,8	08.04	+3,9	02.17	1,3	0,2
Велик.	+3,8	08.98	+0,2	02.77	2,4	0,9	+5,0	09.23	+2,1	02.01	1,7	0,3
Вышка	+4,8	07.87	-17,7	11.76	17,9	1,6	+4,4	09.23	-4,0	02.12	7,8	0,6



**Рис. 2.** Изменение среднегодовых температурных показателей в некоторых гротах и на поверхности за последние двадцать лет

Проведенный анализ температурных данных за два периода (1951-99 гг. и 2000-23 гг.) показал, что в настоящее время наблюдается устойчивое повышение среднегодовой многолетней температуры воздуха на территории г. Кунгура, это не могло не отразиться на изменении микроклимата Кунгурской Ледяной пещеры. Из-за особенностей циркуляции воздуха, использования разных режимов проветривания наибольшее влияние на изменение среднегодовых температурных показателей за последние двадцать лет испытали гроты привходовой и выходной части пещеры. И хотя за последние десятилетия безморозных периодов стало больше и среднемноголетняя температура января повысилась на 2,5°C, в зимний период во всех зонах отмечается понижение среднемесячных температур по сравнению с предыдущим периодом исследований (1951-99 гг.). В то же время, при анализе последних данных (2000-23 гг.) отмечен тренд понижения среднегодовых температур в гротах зоны переходных температур и зоны постоянных положительных температур.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России  
в рамках государственного задания  
(регистрационный номер НИОКТР 1022040500583-2-1.5.6).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кадебская О.И. Геоэкологическое состояние Кунгурской Ледяной пещеры и прилегающей территории, ее охрана и рациональное использование: автореф. дис. ...канд. геогр. наук. 25.00.36: защищена 02.12.04 / Кадебская Ольга Ивановна. – Пермь, 2004. – 27 с.
2. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура: монография. / ПГУ, ГИ УрО РАН. – Пермь, 2010. – 249 с.: ил.
3. Красиков А.В., Казанцева А.С., Богомаз М.В. Многопрофильный мониторинг в Кунгурской Ледяной пещере // Горн. журн. – 2018. – № 6. – С. 60-64.
4. Кунгурская ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / ГИ УрО РАН; под ред. В.Н. Дублянско-го; [отв. ред. А.И. Кудряшов]. – Екатеринбург, 2005. – 376 с.: ил.

УДК 556.5.07

DOI:10.7242/echo.2024.1.2

### ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗОНЫ ВЫКЛИНИВАНИЯ ПОДПОРА КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ г. БЕРЕЗНИКИ

А.П. Лепихин, М.А. Опутин  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Показаны особенности влияния гидрологического режима Камского водохранилища на устойчивость систем технического водоснабжения г. Березники. Так как наблюдаемые характеристики уровня режима по гидропостам пгт. Тюлькино и г. Березники не отражают действительное распределение уклонов водной поверхности на изучаемом участке, было проведено соответствующее численное гидрологическое моделирование. В качестве рабочего инструмента для оценки распределения уклонов была использована модель в HEC-RAS. Представлены расчеты для различных сценариев, в том числе тех, при которых наблюдается вертикальная стратификация водных масс на водозаборе АО «БСЗ», изменения притока и уровней воды на Камском водохранилище. Показаны условия, при которых возможны наблюдаемые «залповые» повышения концентрации хлоридов в забираемых на водозаборах водных массах.

**Ключевые слова:** водохранилище, подпор, расход воды, неоднородность водных масс, вертикальная стратификация, гидрологические модели.