

## ЛЕД В ПЕЩЕРАХ АСКИНСКАЯ И КИНДЕРЛИНСКАЯ: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

© 2020 г. Е. В. Трофимова<sup>a, \*</sup>, Ю. В. Соколов<sup>b, \*\*</sup>, А. А. Трофимов<sup>c, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>b</sup>Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

<sup>c</sup>Российский союз спелеологов, Москва, Россия

\*E-mail: [ev\\_trofimova@mail.ru](mailto:ev_trofimova@mail.ru)

\*\*E-mail: [sokolspeleo@mail.ru](mailto:sokolspeleo@mail.ru)

\*\*\*E-mail: [a\\_trofimov1@mail.ru](mailto:a_trofimov1@mail.ru)

Поступила в редакцию 28.03.2020 г.

После доработки 31.03.2020 г.

Принята к публикации 18.04.2020 г.

Статья представляет первые результаты исследований многолетнего пещерного льда в двух наиболее известных пещерах Южного Урала: Аскинской и Киндерлинской, расположенных на расстоянии около 10 км друг от друга в пределах одного горного хребта Алутау. Впервые в России проводились исследования пещерного льда с отбором его образцов на разных глубинах. Работы осуществлялись с помощью ручного ледового бура модели ПИ-8 с диаметром 130 мм, позволившего исследовать лед до глубины 2 м. Дается сравнительная характеристика условий формирования оледенения в рассматриваемых подземных полостях, а также анализируются результаты лабораторных исследований содержания кальция и магния в отобранных образцах льда, полученные с помощью масс-спектрометров. Для льда Аскинской пещеры приводятся значения содержания изотопов кислорода, а также отмечается наличие антропогенных нарушений льда на глубинах от 70 до 110 см.

*Ключевые слова:* пещерный лед, бурение, масс-спектрометрия, Аскинская, Киндерлинская пещеры

DOI: 10.31857/S086960712002007X

**Краткая физико-географическая характеристика объектов исследований.** В 100 км на юго-восток от г. Уфа, на границе Архангельского и Гафурийского районов Республики Башкортостан, значительную известность получили две пещеры с многолетним льдом: Аскинская (371 м/ 24 м) и Киндерлинская (им. 30-летия Победы) (около 13 км/235 м) [6]. Подземные полости расположены в 10 км друг от друга, в пределах одного горного хребта Алутау, имеющего максимальные абсолютные высоты до 650 м (рис. 1). Входы в эти пещеры находятся на близких по значениям абсолютных отметках: соответственно 260 и 208 м [4]. Их относительные превышения над местными дренами также различаются незначительно: Аскинская пещера расположена в 60 м над руслом р. Караньюрт, а Киндерлинская – в 70 м над р. Киндерля.

В геологическом отношении обе подземные полости заложены в серых и темно-серых известняках верхнего девона, падающих под углом от 8° до 34° в направлении запад–северо-запад [4]. Климат территории континентальный при средней годовой температуре воздуха 2.2°C и ее годовой амплитуде 36°C. Среднее годовое количество

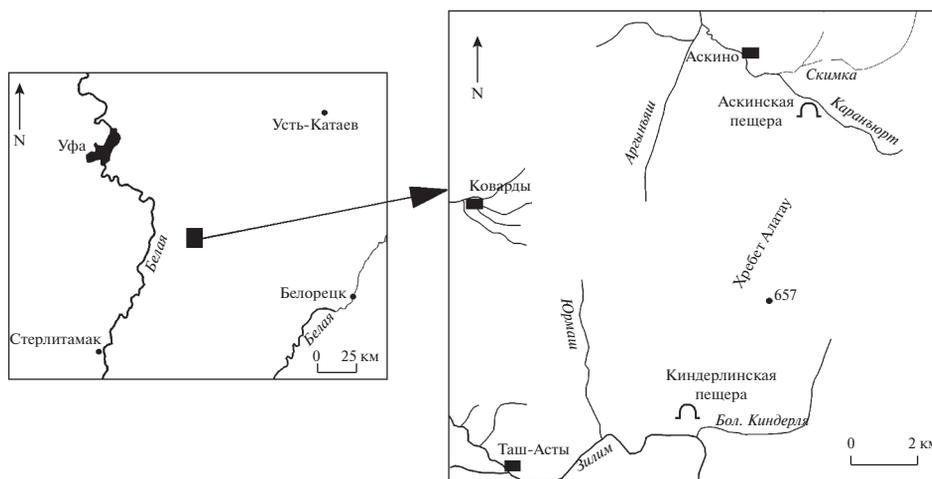


Рис. 1. Район исследований.

Fig. 1. Region of explorations.

осадков составляет 740–750 мм, из которых около 30% выпадет в холодный период года. Высота снежного покрова в районе пещер достигает 0.7–0.8 м. В зимний сезон преобладающими являются ветра южных румбов. Растительный покров в окружении обеих пещер также практически идентичен: здесь произрастают широколиственные и хвойно-широколиственные леса, типичные для западных склонов Южного Урала (липа сердцелистная, сосна обыкновенная и др., в поймах – ольха серая) [3].

Обе пещеры – Аскинская и Киндерлинская – характеризуются широким распространением снежно-ледовых образований (наледи-покровы, ледяные сталактиты, ледяные сталагмиты, ледяные кристаллы, снежники), описанных ранее Г.В. Вахрушевым [1], И.К. Кудряшовым [2], Ю.В. Соколовым [5] и др. Сезонные льды формируются около входов в подземные полости, либо в их внутренних частях под трещиноватыми или расположенными близко к дневной поверхности сводами, где летние температуры поднимаются выше 0°C. В зонах, где средние годовые температуры отрицательны, а летние – близки к 0°C, развиваются многолетние льды.

**Итоги экспедиционных работ.** Входы в обе подземные полости расположены в верхних участках склонов, имеют провальный генезис и, как следствие, огромные размеры: вход в Аскинскую пещеру имеет вид вытянутой арки длиной более 20 м при высоте около 9 м, а вход в Киндерлинскую – в виде трапеции высотой 12 м при ширине около 7 м. Экспозиции входов имеют почти противоположные направления: Аскинская обращена на северо-восток, а Киндерлинская – на юг.

Согласно классификации, разработанной для сибирских пещер со льдом [8], по условиям возникновения холода и накоплению снега и льда пещера Аскинская представляет собой в морфологическом плане крупнейшую на Южном Урале подземную полость мешкообразного типа с огромной по объему наледью. Площадь наледи-покрова в Аскинской пещере составляет около 5 тыс. м<sup>2</sup>, а его мощность, по данным нашего бурения, варьирует от 60–62 см в центре зала до чуть более 2 м – в его северо-западной части. Полученные данные по мощности льда вполне совпадают с материалами георадарной съемки, проведенной Ю.И. Степановым и др. [7]. Что касается

Киндерлинской пещеры, то в этой крупнейшей по длине и амплитуде горизонтальной пещере Южного Урала многолетняя наледь сформировалась также в мешкообразной по морфологии части пещеры. Здесь наледь расположена у основного входа в подземную полость, занимая участок протяженностью около 120 м при ширине порядка 6–12 м. Мощность наледи изменяется от нескольких сантиметров около начала и окончания до 7–8 м в ее центральной части.

В летний период 2019 г. в пещерах Аскинская и Киндерлинская ручным механическим ледовым буром ПИ-8 с диаметром 130 мм было осуществлено бурение льда до глубины 2 м. В Аскинской бурение осуществлялось в несколько этапов в северо-западной, наиболее мощной, выровненной части наледного тела. В Киндерлинской бурение льда было организовано в районе плоской площадки, расположенной в середине уступа высотой около 4 м. Затем ледяные керны разрезались на отдельные части длиной 20 см, которые упаковывались в двойные zip-пакеты.

В лабораторных условиях лед расплавлялся, оттаивался 8 ч, а затем талая вода переливалась в стерильные пробирки с завинчивающейся крышкой объемом 15 мл (производство компании Corning).

Состав пещерного льда (42 элемента) определялся методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Elan 6100 DRC) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (Optima 3300 RL). Калибровка растворов осуществлялась на основе High Purity Standarts ICP-MS-68B (Solution A + Solution B) (100 мг/л). Контроль точности проводился с использованием раствора High Purity Standarts CRM-TMDW (trace metals in drinking water standart).

Как и предполагалось, в условиях образования подземных полостей в карбонатных породах в составе пещерных льдов наибольшими концентрациями характеризуется химические элементы Ca (от 17959 до 48571 мкг/л для Аскинской и от 8911 до 42710 мкг/л для Киндерлинской) и Mg (от 302 до 3617 мкг/л для Аскинской и от 1204 до 2772 мкг/л для Киндерлинской).

Из рис. 2 видно, что содержание кальция в пещерном льде значительно изменяется по глубине: наблюдается его уменьшение в обеих пещерах до глубины 30 см и увеличение на глубинах от 110 до 150 см. Содержание магния в целом мало изменяется по глубине, за исключением концентрации у поверхности (для Аскинской) и на глубине 190 см – для Киндерлинской.

Порядок полученных значений содержания Ca и Mg в пещерном льде в рассматриваемых подземных полостях Южного Урала соответствует данным подобных исследований в пещере Вукушик (Хорватия), где лед отбирался также на разных отметках до глубины 2 м [9]: для Ca эти значения варьируют от 3560 до 33800 мкг/л, а для Mg – от 57.4 до 914 мкг/л.

В распределении по глубине Zn (рис. 2) отмечается аномалия для пещеры Аскинская: значительный скачок значений содержания этого элемента на глубинах от 70 до 110 см, что дает основания предполагать наличие участка антропогенного загрязнения в этой подземной полости.

Как показали изотопные исследования льда из пещеры Аскинская с помощью лазерного анализатора Picarro, значения содержания изотопов  $\delta^{18}\text{O}$  здесь варьируют от  $-11.96$  до  $-12.66\text{‰}$ .

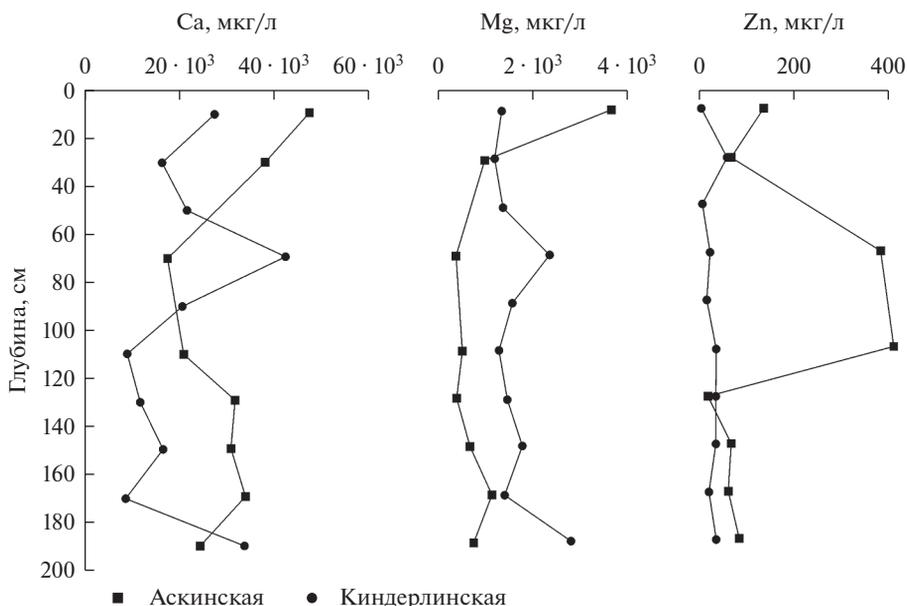


Рис. 2. Изменение по глубине химического состава льда из пещер Аскинская и Киндерлинская.

Fig. 2. The changes of the cave ice chemical composition in the Askinskaya and Kinderlinskaya caves.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят А.В. Козачек (лаборатория изменения климата и окружающей среды Арктического и антарктического НИИ (Санкт-Петербург) за помощь в проведении изотопных исследований.

Исследование выполнено в рамках госзадания ФГБУН ИГРАН № 0148-2019-0005.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрушев Г.В. Ледяные пещеры в карбонатных породах Башкирии // Пещеры. 1972. Вып. 12. С. 108–117.
2. Кудряшов И.К. Аскинская ледяная пещера // Путеводитель по Башкирии. Уфа: Башкнигоиздат, 1965. С. 425–430.
3. Миркин Б.М., Мартыненко В.Б., Широких П.С., Наумова Л.Г. Анализ факторов, определяющих видовое богатство сообществ Южного Урала // Журн. общей биологии. 2010. Т. 71. № 2. С. 131–143.
4. Смирнов А.И., Соколов Ю.В. Карст и спелеология // Абдрахманов Р.Ф. и др. Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. С. 301–337.
5. Соколов Ю.В. Лед в пещерах Башкортостана // Биологическое разнообразие, спелеологические объекты и историко-культурное наследие охраняемых природных территорий Республики Башкортостан. Сборник научных трудов. Уфа: Информреклама, 2008. Вып. 3. С. 184–196.
6. Соколов Ю.В., Рычагова Н.И., Муслухов Ш.И. Пещера Киндерлинская (им. 30-летия Победы) // Атлас пещер России (гл. ред. А.Л. Шелепин). М.: РГО, РСС, 2019. С. 397–404.
7. Степанов Ю.И., Тайницкий А.А., Кичигин А.А. Георадарные исследования подземных наледей в пещерах Урала // Комплексное использование и охрана подземных пространств. Пермь: ГИУРОРАН, 2014. 380 с.
8. Трофимова Е.В. Пещеры-ледники Байкала // Изв. РГО. 2006. Т. 138. Вып. 2. С. 75–84.
9. Kern Z., Széles E., Horvatinčić N., Főrizs I., Bočić N. & Nagy B. Glaciochemical investigations of the ice deposit of Vukušić Ice Cave, Velebit Mountain, Croatia // The Cryosphere. 2011. № 5. P. 485–494.

**Ice in Caves Askinskaya and Kinderlinskaya: Comparative Characteristic****E. V. Trofimova<sup>1,\*</sup>, Yu. S. Sokolov<sup>2,\*\*</sup>, and A. A. Trofimov<sup>3,\*\*\*</sup>**<sup>1</sup>*Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia*<sup>2</sup>*Institute of Geology: Subdivision of the Ufa Federal Research Centre, RAS, Ufa, Russia*<sup>3</sup>*Russian Speleological Union, Moscow, Russia**\*e-mail: ev\_trofimova@mail.ru**\*\*e-mail: sokolspeleo@mail.ru**\*\*\*e-mail: a\_trofimov1@mail.ru*

The article presents the first results of expeditional explorations of the perennial ice in two of the most famous caves of the Southern Ural: Askinskaya and Kinderlinskaya, located at a distance of 10 km from each other within the mountain range Ulutau. For the first time in Russia, the ice cave explorations were realized with a sampling at different depths. The field works were carried out using the manual ice drill PI-8 (130 mm in diameter), which allowed to research cave ice to a depth of 2 m. A comparative description of the conditions of cave ice formation in studied underground cavities is given, the results of its laboratory studies obtained by the mass-spectrometry methods are analyzed as well. Oxygen isotope values for the ice of the Askinskaya cave are given. The existence of anthropogenic disturbances in the Askinskaya cave ice at a depth of 70 to 110 cm is noted.

*Keywords:* cave ice, drilling, mass-spectrometry, Askinskaya, Kinderlinskaya caves

**REFERENCES**

1. Vakhrushev G.V. Ice caves in carbonate rocks of Bashkiria // *Caves*. 1972. Is. 12. P. 108–117.
2. Kudryashov I.K. Askinskaya Ice Cave // *Guide-book for Bashkiria*. Ufa: Bashknigoizdat, 1965. P. 425–430.
3. Mirkin B.V., Martinenko V.B., Shirokikh P.S., Naumova L.G. Analyze of the factors, determining the species diversity of the Southern Ural // *Journal of general biology*. 2010. V. 71. № 2. P. 131–143.
4. Smirnov A.I., Sokolov Yu.V. Karst and speleology // *Abdrakhmanov R.F. et al. Karst of Bashkortostan*. Ufa: Informreklama, 2002. P. 301–337.
5. Sokolov Yu.V. Ice in caves of Bashkortostan // *Biological diversity, speleological objects and historical-cultural heritage of the protected areas of the Republic Bashkortostan*. Ufa: Informreklama, 2008. Is. 3. P. 184–196.
6. Sokolov Yu.V., Richagova N.I., Muslukhov Sh.I. Cave of Kinderlinskaya (named after 30-anniversary of the Victory) // *Atlas of caves of the Russia* (Ed. Shelepin A.L.). M.: RGO-Russian Speleological Union, 2019. P. 397–404.
7. Stepanov Yu.I., Tainitsky A.A., Kichigin A.A. Georadar explorations of underground aufeis in caves of the Ural // *Complex using and protection of underground spaces*. Perm: Geological Institute of the Ural department of the Russian Academy of Sciences, 2014. 380 p.
8. Trofimova E.V. Ice caves of Baikal // *Izv. RGO*. 2006. V. 138. Is. 2. P. 75–84.
9. Kern Z., Széles E., Horvatinčić N., Fórizs I., Bočić N., Nagy B. Glaciochemical investigations of the ice deposit of Vukušić Ice Cave, Velebit Mountain, Croatia // *The Cryosphere*. 2011. № 5. P. 485–494.