

В сборнике освещены современное состояние картолого-спелеологических исследований и актуальные проблемы практического использования подземных пространств в России и странах ближнего зарубежья. Представлены 43 статьи, посвященные вопросам геологии и гидрогеологии закарстованных территорий, спелеологии и спелестологии, изучения отложений и климата карстовых полостей, биоспелеологии, охраны карстовых ландшафтов, спелеотуризма и музеефикации подземных пространств.

II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ

**ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ
И ИСКУССТВЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ
И ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Материалы

**Всероссийской научно-практической конференции
II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ**



Симферополь 2018

**ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского
Таврическая академия
Кафедра геоморфологии и землеведения
Учебно-методический научный центр
«Институт спелеологии и карстологии»
Отделение Русского географического общества в Республике Крым
Российский союз спелеологов**



ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ И ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Материалы

Всероссийской научно-практической конференции

II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ

**посвященной 60-летию отечественной спелеологии
и 100-летию кафедры землеведения и геоморфологии
КФУ им. В.И. Вернадского**

*Симферополь, Республика Крым, Россия
25-28 сентября 2018 г.*

Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ, Симферополь, 25-28 сентября 2018 г. – Симферополь, 2018. – 200 с.

В сборнике освещены современное состояние картолого-спелеологических исследований и актуальные проблемы практического использования подземных пространств в России и странах ближнего зарубежья. Представлены 43 статьи, посвященные вопросам геологии и гидрогеологии закарстованных территорий, спелеологии и спелестологии, изучения отложений и климата карстовых полостей, биоспелеологии, охраны карстовых ландшафтов, спелеотуризма и музеефикации подземных пространств.

Study and use of the natural and artificial underground spaces and karstified territories. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference II CRIMEAN CARSTOLOGICAL READINGS, Simferopol, 25-28 September 2018. – Simferopol, 2018. – 200 p.

State of the art of karstological and speleological researches and the actual issues of practical use of underground spaces in Russia and nearby countries are showed in the proceedings. 43 papers on the problems of geology and hydrogeology of karstified territories, speleology and spelestology, study of karst caves deposits and climate, biospeleology, protection of karst landscapes, speleotourism and museumification of underground spaces are presented.

Организационный комитет II Крымских карстологических чтений:

Председатель Организационного комитета – проф., д.г.н. Вахрушев Б.А.

Члены Оргкомитета: д.г.н. Кадебская О.И., к.г.н. Амеличев Г.Н., Самохин Г.В., к.г.н. Лукьяненко Е.А., д.физ.-мат.н. Шелепин А.Л., Юшко А.А., к.б.н. Мазина С.Е., Гунько А.А., Червяцова О.Я.

Ответственные секретари – Науменко В.Г., Токарев С.В.

Компьютерная верстка: Амеличев Е.Г.

Фото на обложке – Тимохина Е.И.

Все статьи публикуются в авторской редакции

© Коллектив авторов, 2018

© Учебно-методический научный центр Институт спелологии и карстологии и кафедра землеведения и геоморфологии Таврической академии Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, 2018

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКАРСТОВАННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ И ОТЛОЖЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ

УДК: 549.742.111; 550.4

СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ КРИОГЕННОГО ПЕЩЕРНОГО
КАЛЬЦИТА КАК ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКОГО МАРКЕРА
НА ТЕРРИТОРИИ РФ

Кадебская О.И.^{1,2}, Дублянский Ю.В.³, Шпётль К.³

¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия, icesave@bk.ru

²Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия, icesave@bk.ru

³Институт Геологии Инсбрукского университета, Инсбрук, Австрия,
yuri.dublyansky@uibk.ac.at

Аннотация: С 2012 по 2018 гг. в 24-х пещерах России были обнаружены и изучены образцы крупнокристаллического криогенного кальцита. Криогенное происхождение последнего было установлено на основании морфологического изучения, а также изотопного анализа образцов. U-Th датирование этого кальцита позволяет реконструировать пространственно-временные характеристики криолитозоны Евразии в плейстоцене и выявлять реакцию мерзлоты на изменения климата.

Ключевые слова: карбонаты, пещеры, криогенез, изотопный состав, палеоклимат.

STATUS OF STUDIES OF CRYOGENIC CAVE CALCITE
AS A PALEOCLIMATE ARCHIVE IN RUSSIAN FEDERATION

Kadebskaya O.^{1,2}, Dublyansky Y.³, Spötl C.³

¹Mining Institute of the Ural branch of the RAS, Perm, Russian, icesave@bk.ru

²Perm State National Research University, Perm, Russian, icesave@bk.ru

³Leopold Franzens Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria,
yuri.dublyansky@uibk.ac.at

Abstract: Between 2012 and 2018, cryogenic cave calcite was found and studied in 24 Russian caves. Cryogenic origin was ascertained by morphological studies as well as stable isotope analyses. U-Th dating of this calcite allows reconstructing spatial and temporal distribution of permafrost in Eurasia in Pleistocene and its responses to climate evolution.

Key words: carbonates, caves, cryogenesis, isotope composition, paleoclimate

При деградации многолетней мерзлоты в закарстованных породах в результате потепления климата могут сложиться условия, когда мощность активного слоя

увеличивается настолько, что верхняя граница мерзлоты пересекает поверхность свода пещеры. В это время вода из активного слоя может поступать в пещеру, всё ещё находящуюся в зоне отрицательных температур, и замерзнуть. При дальнейшем потеплении, когда температура в пещере поднимается до $\sim 0^\circ\text{C}$, медленное замерзание инфильтрационной воды в небольших «бассейнах» приводит к криогенной концентрации остаточного раствора и образованию крупнокристаллического кальцита.

Крупнокристаллический криогенный кальцит обнаруживается в пещерах, расположенных на территориях Евразии, которые в настоящее время свободны от многолетней мерзлоты (к примеру, Центральная Европа, Южный Урал, Восточный Саян). Его присутствие указывает на то, что на данной территории мерзлота была развита в прошлом. Поскольку возраст такого кальцита может быть достаточно точно определён методом U-Th датирования, он представляет собой уникальный источник информации об изменении пространственного распространения многолетней мерзлоты на протяжении последних 600-700 тыс. лет [2, 4].

При обследовании пещер криогенный кальцит, как правило, выявляется по характеру нахождения, а также по характерной и разнообразной морфологии, весьма отличающейся от морфологии «обычных» спелеотем. Криогенный кальцит интересующего нас типа находится в удалённых от входа частях пещер, в зоне постоянных температур, где локальное сезонное накопление холода (и связанное с ним криоминералообразование) невозможно. Он встречается в виде «пятен»–скоплений на полу пещер или других поверхностях, например, на стеновых полках или глыбах. Площадь таких скоплений, как правило, не превышает нескольких квадратных метров. Зоны отложения криогенного кальцита зачастую отличаются от окружающих отложений более светлой окраской.

Размеры индивидуальных зёрен и агрегатов крупнокристаллического криогенного кальцита могут иметь размеры от миллиметра и меньше до нескольких сантиметров. Как правило, зёрна и агрегаты не сцементированы между собой. Морфология выделений весьма разнообразна. Часто отмечается расщеплённый рост кристаллов. Как правило, можно встретить полный «спектр» степени расщепления – от слегка расщеплённых кристаллов до сноповидных кристаллов и сферолитов.

Криогенное происхождение кальцита заверяется изотопным анализом кислорода и углерода. При медленном замерзании ограниченного объема раствора, в образующийся лёд преимущественно входят молекулы воды с «тяжёлым» изотопом ^{18}O . Соответственно в остаточном растворе повышается содержание «лёгкого» изотопа ^{16}O . Кальцит, кристаллизующийся из такого раствора, наследует облегчённый изотопный состав кислорода. Кроме того, в связи с режимом ограниченной дегазации CO_2 , складывающимся в медленно замерзающих бассейнах, углерод, входящий в кристаллизующийся кальцит, прогрессивно обогащается тяжёлым изотопом ^{13}C . Реализуясь одновременно, эти два геохимических механизма приводят к появлению характерных изотопных трендов: криогенный кальцит имеет значения $\delta^{18}\text{O}$ значительно облегчённые по сравнению с таковыми сталактитов или натёков из данной пещеры; при этом, в процессе роста $\delta^{18}\text{O}$ становится всё

более «лёгким», а $\delta^{13}\text{C}$ – более «тяжёлым». Выявление таких изотопных характеристик – надёжный индикатор криогенного происхождения кальцита.

Первые работы, посвященные криогенному пещерному кальциту, как индикатору палеоклиматических (палеокриологических) условий, были выполнены в Центральной Европе. Криогенные карбонаты были обнаружены и изучены примерно в 20 пещерах Германии, Чехии, Словакии, Австрии и Польши [3, 5].



Рис.1. Морфология криогенного кальцита из пещеры Водораздельная, Восточный Саян: корочки, кристаллы разной степени расщепления, агрегаты сферолитов.

По-видимому, первая находка криогенного кальцита такого типа на территории России была сделана Е.П. Дорофеевым, отобравшим в 1968 г. образцы необычной морфологии в пещере Дивья на Северном Урале. Многие годы образцы хранились в Кунгурском стационаре ГИ УрО РАН; при этом происхождение кальцита оставалось неясным, и его криогенный характер был установлен только в 2014 г. [1].

Систематическое обследование пещер Урала на предмет нахождения криогенного кальцита было начато авторами в 2012 г. В результате систематического обследования пещеры Дивья на западном склоне Северного Урала в 2014-2016 гг., криогенный кальцит был обнаружен в гротах Ажурный, Жемчужный, Дальний, Трущоба, Планетарий, Медвежий, Кабан, Черные Глаза, Театральный, Индийский и Виноградный. Криогенный кальцит был также обнаружен на восточном склоне Северного Урала в пещере Старателей. U-Th датировки образцов с Северного Урала (19 датировок) показали, что мерзлота в этой части Урала в последние 500

тыс. лет присутствовала на протяжении длительных отрезков времени; при этом она многократно протаивала. Часть эпизодов протаивания была связана с глобальными потеплениями-межледниковьями, соответствующими морским изотопным стадиям MIS13 (ок. 482 тыс. лет назад), MIS9 (ок. 303 тыс. лет назад) и MIS5e (Микулинское межледниковье; 128 тыс. лет назад). Кроме того, оттаивание вызывали и относительно краткосрочные потепления-интерстадиалы (GI) плейстоцена: GI24 (106-107 тыс. лет назад), GI23 (ок. 104 тыс. лет), GI21 (85,4 тыс. лет назад), GI7 (ок. 34 тыс. лет назад), а также Бёлинг-Алерёдский интерстадиал (13,2 тыс. лет назад).

В границах Среднего Урала обнаружено 7 пещер с криогенным кальцитом: Кизеловская (Виашерская), Усьвинская-1, Геологов-3, Тихая, Российская, Обвальная и Большая Понышская. По результатам U-Th датирования (36 датировок), наиболее древнее присутствие многолетней мерзлоты в этом регионе зафиксировано 650-670 тыс. лет и 567-595 тыс. лет назад. Указанные возрасты близки к границе применимости U-Th метода, в связи с чем точность определения возраста невысока ($\pm 60-100$ тыс. лет назад), и эти, наиболее древние, периоды оттаивания мерзлоты невозможно привязать к определённым периодам потепления. Более поздние эпизоды протаивания мерзлоты были зафиксированы перед окончанием MIS12 (416-435 тыс. лет назад), MIS9 (295,7 тыс. лет назад), MIS7 (198-205,1 тыс. лет назад), и перед MIS 5e (Микулинское межледниковье; 128,6-130,0 тыс. лет назад). Как и на Северном Урале, мерзлота реагировала и на более кратковременные потепления интерстадиалов GI24 (106-107 тыс. лет назад), GI23 (ок. 102-104 тыс. лет и 98,7 тыс. лет назад), GI22 (89,4-90,0 тыс. лет назад), GI20 (75,4 тыс. лет назад), GI14 (52,5 тыс. лет назад), GI12 (47,5 тыс. лет назад), GI7 (35,8 тыс. лет назад), а также Бёлинг-Аллерёдского интерстадиала (13,1 тыс. лет назад) и начала голоцена (11,7 тыс. лет назад).

На Южном Урале на сегодняшний день известно 4 пещеры с находками криогенного кальцита: Игнатиевская, Шульган-Таш (Капова), Виктория и Грандиозная. U-Th датировки (13) показали, что многолетняя мерзлота распространялась далеко на юг, достигая Южного Урала, во время MIS3 и MIS2 (максимум последнего оледенения). При этом мерзлота «реагировала» (протаивала) в ответ на краткосрочные потепления интерстадиалов GI14-15 (53,3-56,0 тыс. лет назад), GI12 (46,6 тыс. лет назад), GI10 (41,6-42,9 тыс. лет назад), GI7 (33,1 – 34,4 тыс. лет назад), GI4 (29 тыс. лет назад) и пред-GI2 (25,1 тыс. лет назад). Окончательная деградация и исчезновение мерзлоты произошло только в начале голоцена (~11,9 тыс. лет назад).

Помимо Урала криогенный кальцит обнаружен в 9 пещерах Сибири: в Красноярском крае (пещеры Водораздельная, Тёмная, Большая Орешная, Рождественская и Гондурас); в Хакасии (пещеры Тузук-Су и Надежда) и Иркутской области (пещеры Аргаракан и Охотничья). По этому материалу выполнена 21 U-Th датировка. Эпизоды протаивания мерзлоты в этой части Евразии отмечались в MIS8 (216,1-218,7 тыс. лет назад), MIS7 (192,6-202,5 тыс. лет назад), а также в связи с интерстадиалами GI24 (106,8-108,8 тыс. лет назад), GI23 (ок. 103,4 тыс. лет назад), GI21 (81,3 тыс. лет назад), GI15-16 (54,9-58,1 тыс. лет назад), GI12 (46,0 тыс. лет

назад), GI4 (29 тыс. лет назад), GS2 (18,3 тыс. лет назад) и Бёлинг-Аллерёдским интерстадиалом (12,4-13,6 тыс. лет назад).

На Дальнем Востоке, в Приморском крае криогенный кальцит был обнаружен в Тетюхинских пещерах; а также в одной из пещер Сахалинской области. U-Th датировки (3) показали, что протаивание мерзлоты в этой части Евразии было связано с Микулинским межледниковьем MIS5e (139,4 тыс. лет назад) и интерстадиалом GI24 (106,8-108,8 тыс. лет назад).

Таким образом, на сегодняшний день в России известно 24 пещеры с криогенным кальцитом – маркером времени оттаивания многолетнемерзлых пород. Возможность U-Th датирования криогенного кальцита даёт возможность восстанавливать динамику криолитозоны на значительно большую, по сравнению с традиционными криологическими методами, глубину по времени. К примеру, результаты изучения криогенного кальцита свидетельствуют о том, что на Среднем Урале многолетняя мерзлота периодически присутствовала с 670 тыс. лет до 11,7 тыс. лет назад.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-55-14002 «Миграция границы многолетней мерзлоты на границе Европа-Азия в плейстоцене» и FWF № 027070 (Австрия) «Pleistocene permafrost boundary shifts at the Europe-Asia border».

Литература

1. Чайковский И.И., Кадебская О.И., Жак К. Морфология, состав, возраст и природа карбонатных сферолитов из пещер Западного Урала // Геохимия 2014. - № 4. - С. 373–384
2. Dublyansky Y., Kadebskaya O., Luetscher M., Cheng H., Koltai, G., Spötl C. Tracking the southern boundary of the Late Pleistocene permafrost in Ural Mountains using cryogenic cave carbonates: feasibility study / Gunther, F. and Morgenstern, A. (Eds.) 2016: XI International Conference on Permafrost – Book of Abstracts, 20–24 June 2016, Potsdam, Germany. Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein, doi:10.2312/GFZ.LIS.2016.001
3. Žák K., Onac B.P., Kadebskaya O.I., Filippi M., Dublyansky Y., Luetscher M. Cryogenic mineral formation in caves. / Persoiu A., Laurantzen S.-E. (Eds.) Ice Caves. - Elsevier, 2018. - P. 123-162 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00035-8>
4. Žák K., Richter D.K., Filippi M., Zivor R., Deininger M., Mangini A., Scholz D. Coarsely crystalline cryogenic cave carbonate – a new archive to estimate the Last Glacial minimum permafrost depth in Central Europe // Climate of the Past, 2012. - № 8. - P. 1–17.
5. Žák K., Urban J., Cílek V., Hercman H. Cryogenic cave calcite from several Central European caves: age, carbon and oxygen isotopes and a genetic model // Chemical Geology, 2004. - №206. - P.119-136.

УДК 551.243+556.3.06

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ И ПРЯМЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ОБВОДНЕННЫХ ЗОН В ПРЕДЕЛАХ КАРАБИ-ЯЙЛЫ

Пасынков А.А., Пасынкова Л.А., Вахрушев Б.А.

(ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Таврическая академия, географический факультет); anatoly.pasynkov@yandex.ua, vakhb@inbox.ru

***Аннотация:** При изучении системы область питания-очаги разгрузки была установлена приуроченность основных крупных водопунктов к зонам разломов и повышенной трещиноватости. Разнопорядковые тектонические элементы являются структурами, которые могут быть потенциально обводненными. Наиболее информативными источниками выявления обводненных зон явились комплексные исследования, включающие дистанционные и полевые геологические работы: аэровизуальное обследование, авиадесантные и геологические маршруты.*

***Ключевые слова:** разломные зоны, карстовые воды, дистанционные исследования, аэровизуальное обследование*

THE INTEGRATION OF REMOTE AND DIRECT GEOLOGICAL METHODS FOR DELINEATION OF AQUIFEROUS AREAS WITHIN THE KARABI-YAILA

Pasynkov A.A., Pasynkova L.A., Vachrushev B.A.

Crimean Federal University name V.I. Vernadsky, Tavrida academy, Simferopol, Crimean republic; anatoly.pasynkov@yandex.ua, vakhb@inbox.ru

***Abstract:** In the study of the system supply recharge area-centers of discharge a connection of major water points to the fault zones and increased fracturing was established. Multi-order tectonic elements are structures that can be potentially aquiferous. The most informative sources of identification of aquiferous areas were complex studies, including remote and field geological work: aerial visual survey, airborne and geological routes.*

***Keywords:** fault zones, karst waters, remote sensing, aerial visual survey*

При изучении системы область питания-очаги разгрузки была установлена приуроченность основных крупных водопунктов к зонам разломов, разрывов и повышенной трещиноватости, а также к приразрывным складкам. Разнопорядковые тектонические элементы являются структурами, которые могут быть потенциально обводненными. Наиболее информативными источниками выявления обводненных зон явились комплексные исследования, включающие дистанционные и полевые геологические работы: аэровизуальное обследование, авиадесантные и пешеходные геологические маршруты [1].

Караби-яйла является важнейшей областью развития классического горного карста, имеющей свои специфические особенности питания, транзита и разгрузки трещинно-карстовых подземных вод, связанных с обводненными зонами тектони-

ческой нарушенности горных пород. В этой связи, традиционная методика и методология применения дистанционных методов значительно усложняется и требует комплексирования дистанционных и прямых геологических методов [2].

Исходным материалом послужили результаты дешифрирования материалов аэро-космических съемок Горного Крыма; материалы полевых маршрутных исследований; авиадесантных и аэровизуальных работ; лабораторных гидрогеологических, литолого-петрографических, геохимических и гидрогеохимических исследований, выполненных в соответствии с геологическим заданием ПГО «Крымгеология» по теме «Поиски обводненных зон Горного и Предгорного Крыма на основе дистанционных методов» [1].

В основу исследований положен комплекс работ, сочетающий дистанционные методы (дешифрирование материалов рядовой аэрофотосъемки м-ба 1:17 500, 1:25 000 и спектрзональной космической съемки м-ба 1:50 000, 1:100 000 и 1:500 000) и полевые работы.

1. На первом этапе дешифрированием МДС (материалы дистанционных съемок) по снимкам выделялись элементы мегатрещиноватости: зоны трещиноватости, смятия и дробления горных пород, зоны линейной и площадной закарстованности верхнеюрских отложений, разрывные нарушения, линеаменты космических снимков.

Особую роль в выяснении геолого-гидрогеологических особенностей площади сыграло изучение площадного распределения закарстованности. По снимкам выделены:

I Восточно-Карабийский район с наибольшей интенсивностью эродированности и закарстованности, бессточный карстовый водосбор, питающий группу источников Карасу-Баши (дебит до 230 л/сек).

II Центральнo-Карабийский район с интенсивной эродированностью и закарстованностью, питающий источники с повышенными дебитами.

III Западно-Карабийский район, средняя степень эродированности и закарстованности. Карстово-эрозионный водосбор, питающие родники склонов яйлы (дебиты до 24 л/сек).

IV Тай-Кобинский, Тонасский и Южно-Карабийский районы, слабо эродированные и закарстованные территории, питающие склоны яйлы (дебиты 8-20 л/сек)

V Районы северных склонов Караби-яйлы, практически не закарстованные и не эродированные, дебиты источников до 8 л/сек.

Выделенные районы интерпретировались нами как отдельные структурно-тектонические блоки, разделенные зонами тектонических нарушений.

2. На втором этапе производилась заверка и систематизация отдешифрированных линейных и площадных объектов. Полевые работы по заверке результатов дешифрирования, выделенных на снимках тектонических структур, трещинно-карстовых жильных зон, зон мегатрещиноватости и обводненных зон включали геологические маршрутные и карстологические исследования, авиадесантные работы в труднодоступных участках Горного Крыма, аэровизуальные наблюдения. На этом этапе выделенные зоны систематизировались по типу, генезису и морфометрическим параметрам (мощности, амплитуды, азимуты и простирания, углы наклонов сместителей и т.д.) (рис.4).

На этом этапе составлялась «Структурно-тектоническая схема» с классифицированными элементами тектоники, зонами разломов, локальными дизъюнктивами, приразломными складками, блоковыми структурами, элементами залегания и т.д.

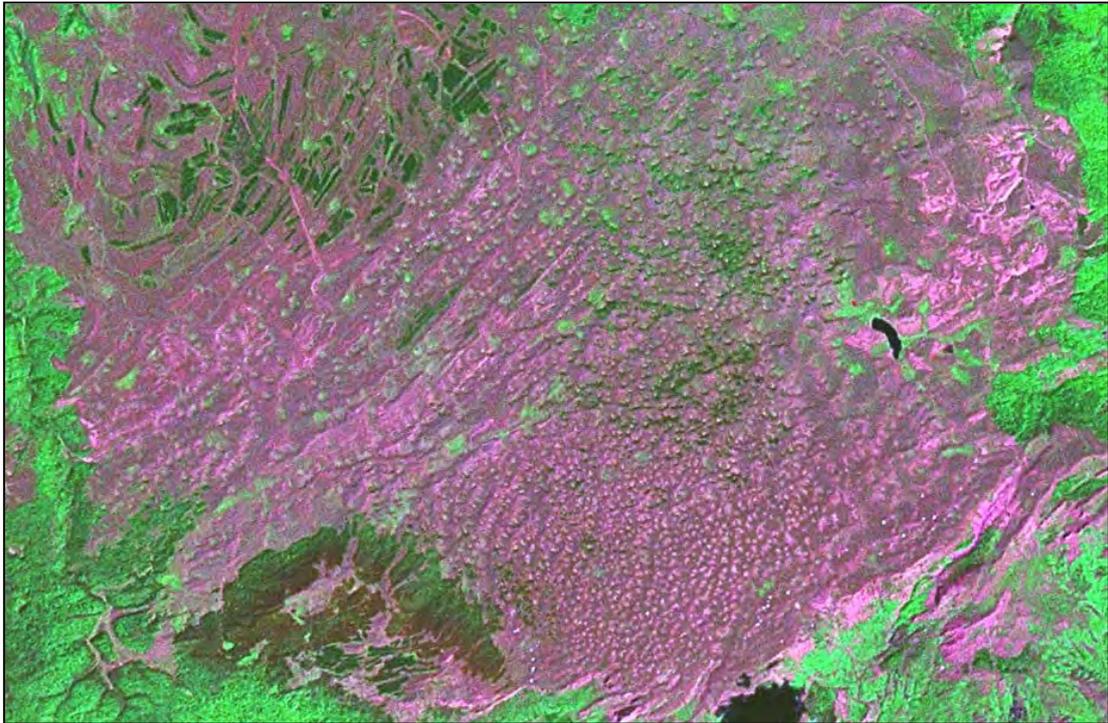


Рис.1 Космический снимок Караби-яйлы (MrSidViewer).



Рис.2. Фрагмент схемы дешифрирования территории Караби-яйлы.

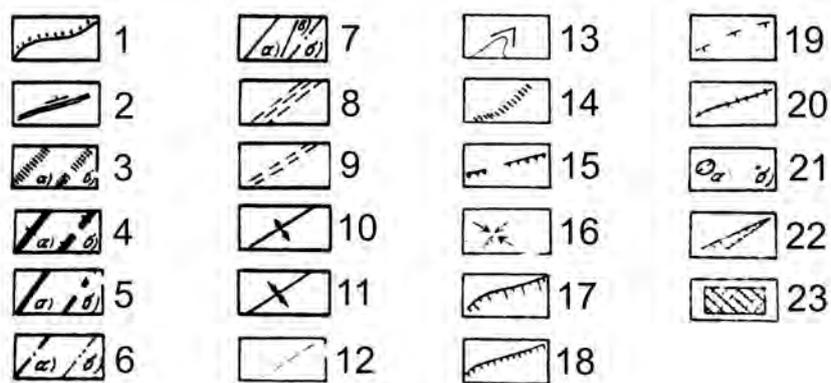


Рис.3 Условные обозначения к Схеме дешифрирования Караби-яйлы.

Фотомаркирующие горизонты: 1 – структурных несогласий; 2 – элементов залегания пород.

Морфоструктурные элементы I порядка: 3 – выделенные на КФС (а – дешифрируемые непрерывно, б - фрагментарно); 4 – выделенные на АФС (а – дешифрируемые непрерывно, б – фрагментарно). **Морфоструктурные элементы II порядка:** 5 – выделенные на КФС (а – дешифрируемые непрерывно, б - фрагментарно); 6 – выделенные на АФС (а – дешифрируемые непрерывно, б – фрагментарно). **Морфоструктурные элементы III порядка:** 7 - выделенные на АФС (а – непрерывные, б – фрагментарные, в – установленные на участке детализации). **Зоны мегатрещиноватости:** 8 – выделенные на КФС; 9 – выделенные на АФС. **Складчатые структуры:** 10 – оси антиклиналей; 11 – оси синклиналей. **Ландшафтно-индикационные признаки дешифрирования:** 12 – спрямленные водотоки; 13 – аномальные изгибы гидросети; 14 – линейная ориентировка микроформ ландшафта, почвенно-ботанических элементов; 15 – тектонические уступы; 16 - центростремительное распределение гидросети. **Геоморфологические элементы:** 17 – кромка плато; 18 – уступы, обрывы; 19 – линии перегиба склона; 20 – гребневидные водоразделы; 21 – карстовые воронки (а – выраженные в масштабе, б - немасштабные); 22 – эрозионные врезы; 23 - участок детализации масштаба 1:25000.

3. Гидрогеологические исследования включали измерения дебитов родников и каптированных источников, расположенных согласно Каталогу в пределах Горного и Предгорного Крыма, в т.ч. и на Караби-яйле, отбор проб вод и образцов горных пород, изучение связи пространственной локализации проявлений разгрузки подземных вод с зонами мегатрещиноватости территории. Результаты работ подтвердили связь обводненных зон с зонами повышенной трещиноватости, проницаемости и разуплотнения. Последние являются своего рода дренами основных водоносных горизонтов и играют важную роль в распределении и локализации подземных вод, в транзите подземных вод от областей формирования к очагам разгрузки. Трещинно-жильные карстовые воды распространяются на большую глубину и проявляются в виде источников, а во флишевых отложениях - в виде кратковременных и относительно малodeбитных притоков и прорывов часто минерализованных вод.

4. Камеральный этап исследований состоял из комплекса лабораторных гидрогеологических и гидрохимических исследований, построения структурно-тектонических схем и карт обводненных зон. Обобщение результатов комплекса выполненных исследований позволило выделить и классифицировать обводненные зоны Горного Крыма.

Классификация обводненных структур и зон произведена с учетом многих факторов, влияющих на гидрогеологические условия, как всего региона, так и от-

дельных его блоков [1]. Это определило порядок структур, связанных с рангом разрывных нарушений и степенью их обводненности (рис. 4).

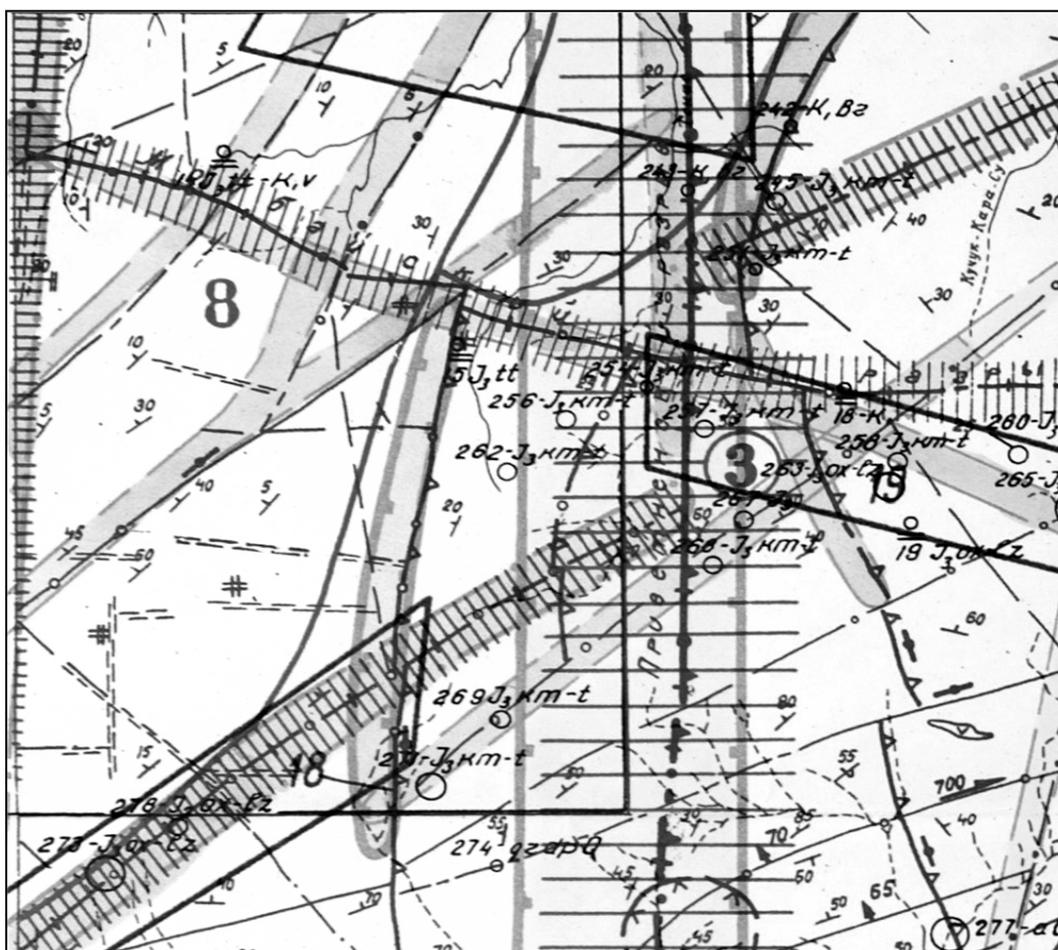


Рис.4 Фрагмент Карты Обводненных зон

К **обводненным структурам первого порядка** на Караби яйле отнесены крупные тектонические структуры, существенно влияющие на гидрогеологические условия всего региона: Карабийский, Приветненский, Молбайский, Тонасский разломы. Выделенные структуры контролируют распределение мощностей и фаций пород разных структурных ярусов, зон смятия и дробления, фиксируются протяженными разрывными нарушениями и сопровождаются приразрывной складчатостью. Это обуславливает формирование коллекторских свойств обводненных пород, образование мега - и мезоформ современного рельефа, определяющих расположение региональных областей питания и накопления подземных вод, пути их движения и разгрузки. В структурах наблюдается наиболее интенсивная закарстованность Крымских яйл, являющихся крупными областями формирования подземных вод трещинного и трещинно-карстового типов.

К этим же структурам приурочены наиболее высокодебитные родники, а также родники с минеральными водами в породах таврической серии. Наиболее водообильными, как правило, являются узлы пересечения зон разломов с разрывами северо-восточного и субширотного простираний. В этих же узлах сосредоточены родники с повышенными и аномально высокими дебитами (среднегодовой дебит источника Карасу-Баши составляет более 200 л/сек).

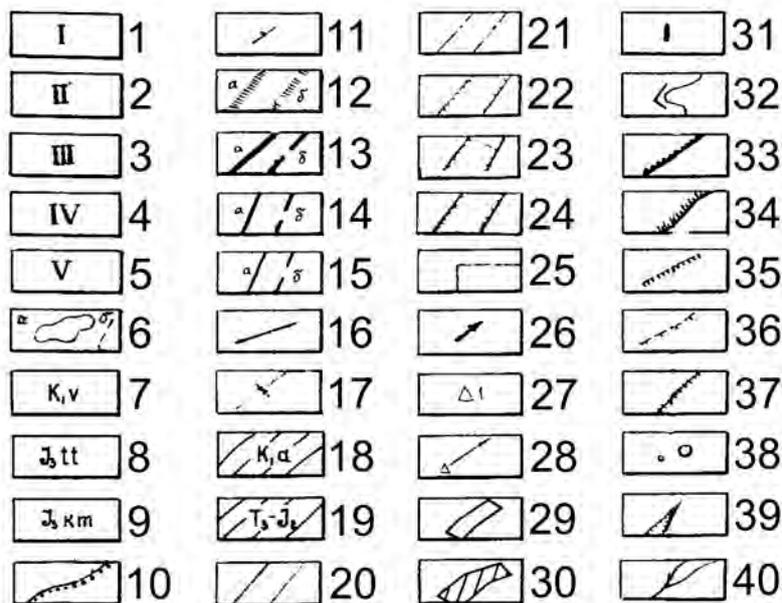


Рис.4. Условные обозначения к Карте обводненных зон.

Площади, выделяемые по условиям формирования и движения подземных вод: 1 – Восточно-Карабийский район с наибольшей с наибольшей интенсивностью эродированности и закарстованности, бессточный карстовый водосбор, питающий группу источников Карасу-Баши (дебит до 230 л/с); 2 – Центрально-Карабийский район с интенсивной эродированностью и закарстованностью, питающий источники с повышенными дебитами; 3 – Западно-Карабийский район с средней степенью эродированности и закарстованности, с карстово-эрозионными водосборами, питающими родники склонов яйлы (дебиты до 24 л/с); 4 – Тай-Кобинский, Тонасский и Южно-Карабийский районы, слабо эродированные и закарстованные территории, питающие склоны яйлы (дебиты 8-20 л/с); 5 – районы северных склонов Караби-Яйлы, практически не закарстованные и не эродированные (дебиты источников до 8 л/с); 6 – границы площадей (выделяющихся по А – формированию подземных вод, Б – по направлению движения). **Водоносные комплексы трещинных и трещино-карстовых вод:** 7 – в валанжинских отложениях (песчаники, мергели, глыбовые известняки); 8 – в титонских оложениях (известняки, песчаники); 9 – в кимериджских отложениях (известняки, песчаники, конгломераты). **Фотомаркирующие горизонты:** 10 – структурных несогласий; 11 – элементов залегания пород. **Тектонические структуры I порядка:** 12 - выделенные на КФС (а – дешефрируемые непрерывно, б - фрагментарно); 13 – выделенные на АФС (а – дешефрируемые непрерывно, б – фрагментарно). **Тектонические структуры II порядка:** 14 - выделенные на КФС (а – дешефрируемые непрерывно, б - фрагментарно); 15 – выделенные на АФС (а – дешефрируемые непрерывно, б – фрагментарно). **Тектонические структуры III порядка:** 16 – локальные секущие разрывы, трещины; 17 – оси синклиналей. **Водоупорные комплексы:** 18 – отложения аптского яруса (глины); 19 - флиш таврической серии и средней юры. **Структуры, контролирующее направление стока и локализации трещинных и трещинно-карстовых вод:** 20 – интенсивно обводненные зоны; 21 – слабо обводненные зоны; 22 – предполагаемые участки локализации подземных вод в пределах обводненных зон; 23 – сильно обводненные участки; 24 – слабо обводненные участки; 25 – перспективные участки. **Прочие обозначения:** 26 – предполагаемое направление движения подземных вод; 27 – пункты запуска красителей; 28 – трассы движения красителя; 29 - участки русла с полным поглощением поверхностного стока; 30 - участки русла с частичным поглощением поверхностного стока; 31 – пещеры, шахты, колодцы. **Геоморфологические элементы:** 32-аномальные изгибы гидросети; 33 – тектонические уступы; 34 – кромка палто; 35 – уступы, обрывы; 36 – линии перегибов склонов; 37 – гребневидные водоразделы; 38 – карстовые воронки; 39 – эрозионные врезы; 40 – гидросеть.

Обводненные структуры второго порядка - многочисленные межблоковые и главные внутриблоковые разрывы, существенно влияющие на формирование гидрогеологических особенностей в отдельных или смежных тектонических блоках региона.

Обводненные зоны представляют собой своего рода дрены для подземных вод, формирующихся в местных областях питания преимущественно в зонах пересечения разрывов и выходящих на поверхность в виде родников.

К **обводненным структурам третьего порядка** отнесены зоны нарушений различного ранга, а также приразломные антиклинальные складки, благоприятные для локализации подземных вод, определяющие гидрологические условия отдельных площадей и участков. Чаще всего это зоны разуплотнения горных пород, благоприятные для образования обводненных зон с различной степенью водообильности.

Литература

1. Пасынков А.А., Пасынкова Л.А. Карстово-трещинные обводненные зоны Горного Крыма-источники субмаринной разгрузки в Черное море. // Спелеология и карстология. - 2014. - № 13.: <http://www.institute.speleoukraine.net/sk-issues/issue13>.
2. Пасынков А.А., Вахрушев Б.А. Субмаринные источники пресных вод Юго-восточного Крыма. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И Вернадского. География. Геология. - 2017. - Т. 3 (69), № 2. - С. 192-204.

УДК: 551.1/.4 (477.75)

ПРОБЛЕМЫ ОСНОВАНИЯ ЧАТЫРДАГСКОГО И КАРАБИ-ДОЛГОРУКОВСКОГО КАРСТОВЫХ МАССИВОВ В КРЫМУ

Юдин В.В.

МОО Крымская Академия наук, Симферополь, Россия; yudin_v_v@mail.ru

Аннотация: Для правильного понимания объема закарстованных массивов рассмотрены их латеральные и подстилающие границы. По оригинальной методике составлена структурная карта основания верхнеюрского карбонатного комплекса.

Ключевые слова: Крым, Караби-Яйла, Чатыр-Даг, структурная геология, карст.

PROBLEMS OF FOUNDING CHATYRDAG AND CARABY-DOLGORUKOV KARST MASSIFS IN CRIMEA

Yudin V.V.

Crimean Academy of Sciences, Simferopol, Russia; yudin_v_v@mail.ru

Abstract: For the correct understanding of volume of karst massives their lateral and laying borders are considered. On original methodology the structural map of founding of Upper Jurassic carbonate complex is made.

Keywords: Crimea, Karaby, Chatyrdag, structural geology, karst.

Одной из важных проблем карста является правильное понимание объема закарстованных массивов. Этот объем определяется положением границ известнякового массива в плане, абсолютными отметками верхней поверхности и морфологией подошвы карбонатного комплекса, подстилаемого водонепроницаемыми породами.

Латеральные ограничения отдельных крупных массивов верхнеюрских известняков Горного Крыма определяются их выходами на поверхность, выраженными в литологии и в рельефе. На геологических картах разных авторов и дат составления, контуры известняковых массивов отличаются [4, 5]. Например, на карте 1910 года под редакцией К.К. Фохта, Чатырдагский и Карабийский массивы были объединены. В последующих изданиях разных авторов под редакцией М.В. Муратова (1967-1984 гг.) контуры выхода известняков нарисованы не одинаково. На государственной геологической карте 2008 года (редактор С.В. Белецкий) в центральной полосе Карабийского массива показан огромный нереальный грабен, выполненный терригенными породами. И, наконец, на последней карте 2016 года вся юго-восточная половина Карабийского карстового массива (с пещерами и с самыми глубокими шахтами Крыма) показана как площадь выхода некарстующихся терригенных пород ранней, средней и верхней юры. На этой же карте известняковые массивы Чатырдага и Северной Демерджи, были вновь объединены, как 100 лет назад.

По данным многолетнего авторского изучения и анализа данных предшествующих геологических съемок, контуры карстовых массивов были приняты по составленной автором уточненной сбалансированной геологической карте 2018 года на основе [3-6], (рис. 1).

Как видно на рисунке, чисто географические названия яйл (Караби, Долгоруковская, Демерджи, Тирке и Орта-Сырт) геологически расположены на едином массиве, нарушенном надвигами северо-восточного простираня.

Верхние ограничения закарстованных массивов четко определяются рельефом поверхности по топографической карте. Отдельной проблемой является древний рельеф карстовой поверхности, который существовал на начальных этапах поднятия Крымских гор и ныне срезан денудацией.

Морфология нижней границы закарстованных массивов, а также литология и возраст подстилающих водонепроницаемых пород имеет важное научное и практическое значение. От правильности модели строения подошвы зависит прогноз и рациональное использование карстовых вод.

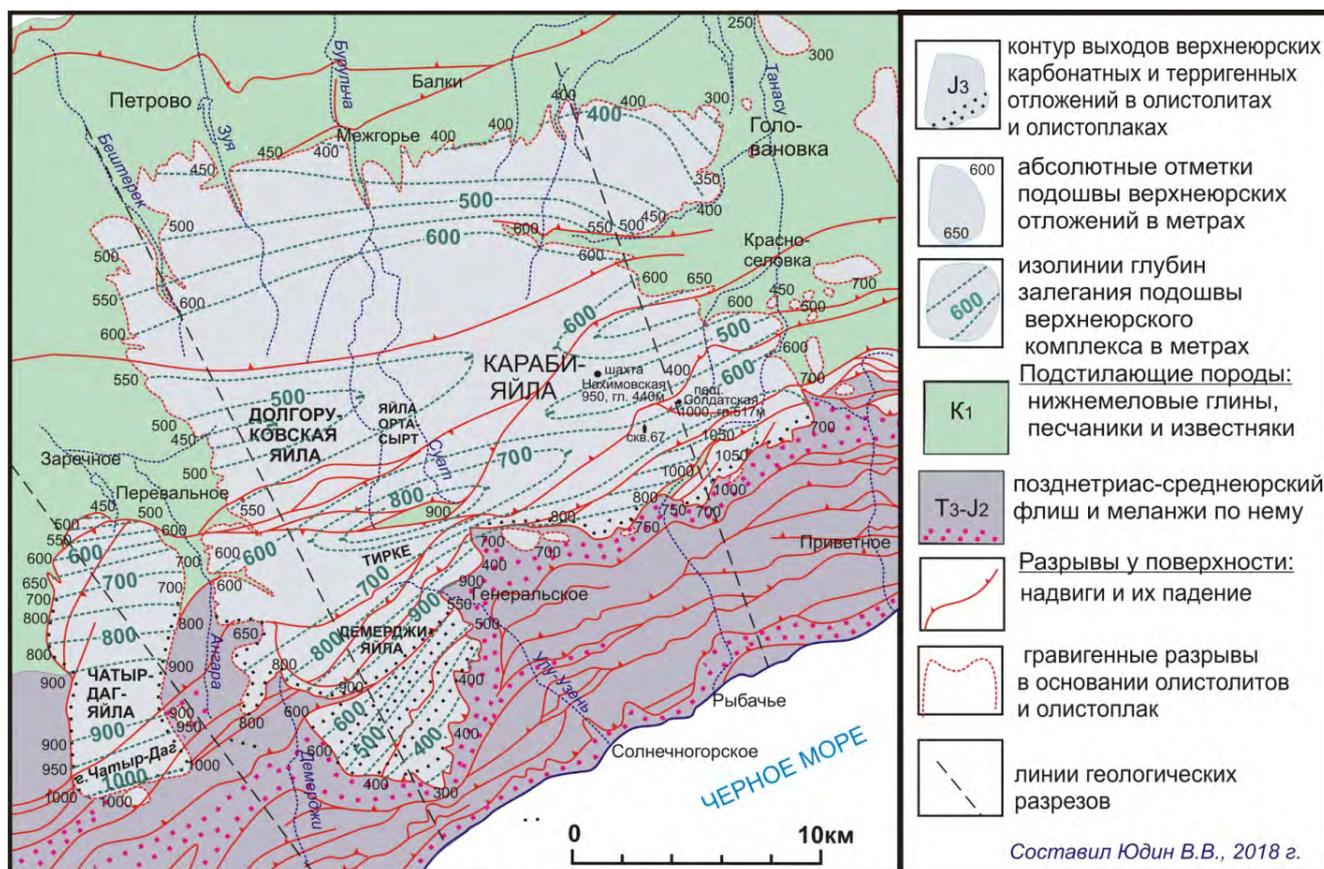


Рис. 1. Структурная карта подошвы верхнеюрского терригенно-карбонатного комплекса Чатырдагского и Караби-Долгоруковскго массивов.

Рельеф основания рассматриваемых массивов либо совсем не определен, либо является предметом многолетних дискуссий, основанных на противоречивых умозрительных представлениях. В первую очередь это связано с отсутствием на крымских яйлах данных сейсморазведки и глубоких параметрических скважин, по которым можно объективно судить о положении подошвы в конкретных участках.

На форму основания массивов существенно влияет внутренняя структура в самих известняках. Она понимается очень по-разному в ветрикально-блоковых, шарьяжной и геодинамической моделях строения [4, 5]. Как следствие, подошва известняков на схематических разрезах была показана на разных глубинах от нескольких сот метров до километра, а в интерпретациях зарубежных коллег даже до 3-4 км (Е. Шеремет и др., 2016). Наше детальное полевое и дистанционное изучение позволило выявить сложное чешуйчато-надвиговое строение массивов [3-6], (рис. 2).

Следует подчеркнуть, что по данным бурения в крымских предгорьях верхнеюрские известняки под нижнемеловыми толщами отсутствуют. Доказательством тому - широкая долина р. Салгир, где под нижнемеловым комплексом повсеместно вскрыты породы таврической флишевой формации [5]. В обнажениях всего Юго-Западного Крыма меловые породы залегают с размывом и угловым несогласием на поздне триас-среднеюрских без признаков позднеюрских известняков [4]. То есть, обрывистые выходы массивов на поверхность достоверно определяют их латеральные границы.

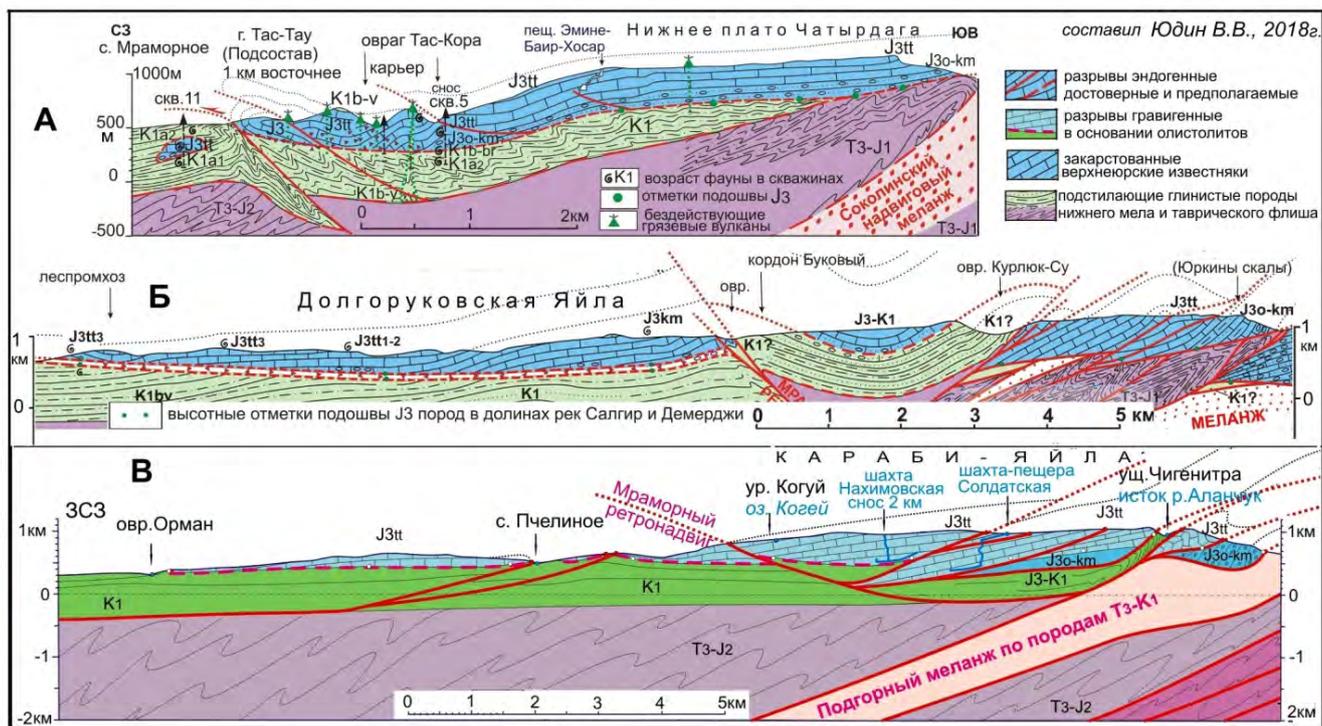


Рис. 2. Геологические разрезы: А - севера Чатырдагского массива; Б, В - Караби-Долгоруковскогo (положение разрезов см. на рис. 1.).

Методика определения формы основания массивов была следующей. В файле многослойной программы CorelDRAW X3 с геологической карты [3] был вынесен контур выходов верхнеюрских известняков и конгломератов и по масштабу совмещен с подложенной топографической картой. В других отдельных слоях файла были совмещены космоснимки, положение разрывов и др. Абсолютные отметки контакта подошвы верхнеюрских отложений в метрах определялись по линиям пересечения изогипс рельефа с линией выхода подошвы верхнеюрского комплекса. Эти отметки уточнялись определением абсолютной высоты в точках контакта по программе Google Earth и выносились на карту по всему контуру Караби-Долгоруковскогo и Чатырдагского массивов (рис. 1.). В современном рельефе их подошва хорошо выражена подножием скальных обрывов, к которым приурочены зоны брекчирования, связанные с гравигенным смещением, многочисленные источники, отмеченные на топографических картах, а также обильная растительность и др. признаки, обусловленные разной литологией пород.

Затем точки контактов с одинаковыми превышениями, с учетом кинематики приповерхностных разрывов, соединялись изолиниями глубин залегания подошвы верхнеюрского комплекса. В результате была создана структурная карта подошвы верхнеюрских отложений (рис. 1). Во внутренних частях массивов она уточнялась по наиболее глубоким карстовым шахтам Караби (рис. 2 В) и по редким скважинам (рис. 2 А). Все это позволило представить положение подошвы и толщину массивов Карабийского и Чатырдагского олистоплаков на всей их площади (рис. 1).

В Чатырдагском массиве выявлено относительно простое строение поверхности основания (рис. 1). В нем подошва верхнеюрских известняков моноклинално погружается с отметок 1000 м на г. Чатыр-Даг до 450 м в северном окончании массива у г. Тас-Тау (рис. 1). Такая модель строения хорошо согласуется с ранее построенным детальным геологическим разрезом [5], при составлении которого также учитывались абсолютные отметки подошвы известняков, определенные по топографической карте в долине р. Ангары и по данным бурения [4, 6].

В Караби-Долгоруковском массиве основание имеет более сложное строение (рис. 1). На юге под известняками залегает клин терригенных пород J3o-kt. Сейсморазведочных работ и бурения до основания массива здесь не проводилось. Локальное изучение методом ВЭЗ (В.Н. Головцын и др., 1966) [1] не позволяет надежно определить подошву карбонатного комплекса. Поэтому для определения глубин подошвы верхнеюрских толщ был применен выше описанный метод прослеживания контактов на основании их абсолютных превышений в обнажениях вокруг массива.

Традиционно считалось, что под северной частью Карабийского массива на глубине 300-500 м несогласно залегают терригенные породы таврической серии и средней юры, а нижнемеловая глинистая толща перекрывает известняки в окружающих грабенах [1, 2 и мн. др.]. Однако во многих участках известняки верхней юры через пологую зону тектонического контакта с брекчиями явно налегают на локально смятые более молодые раннемеловые глины [3-6]. Этот тектонический контакт, показан на разрезах красным пунктиром (рис 2). Срыв связан с ранее обоснованным гравигенным смещением олистоплаков на север в раннемеловое время [4, 5].

Индикаторные опыты на Караби-Яйле были проведены в 1972 г. методом окрашивания флюоресцином воды в шахте Солдатской, в скважине ГПВ-67 (расположенной в 1 км к юго-западу) и в поноре истока р. Суат (рис. 1). Дважды проведенный опыт дал одинаковый результат радиального разноса красителя. В зеленый цвет были окрашены воды р. Бурульчи близ сел с. Межгорье и в ур. Васильки с перекрестными направлениями движения подземных карстовых вод на разных уровнях. Ранее такой феномен объяснялся гипотетическими «субширотными вертикальными разломами» и «горстообразным валом» [1 и др.]. Наша интерпретация связана с выявленным строением подошвы известняков. Как видно на геологическом разрезе (рис. 2-В), шахта-пещера Солдатская расположена в параавтохтонной тектонической чешуе. Гипсометрически она ниже основания шахты Нахимовской и расположена в тектоническом клине карбонатных пород. Вода в северо-западной части клина может уходить только в автономный водоносный горизонт нижнемеловых терригенных пород. Поэтому окраска воды проявилась лишь в далеком участке р. Бурульчи у с. Межгорье.

Выводы. На основе оригинальной методики впервые создана структурная карта подошвы Чатырдагского и Караби-Долгоруковского известняковых массивов. Ранее сделанные выводы о том, что под Карабийским массивом находится «субширотный вал» [2], или «горст», ограниченный вертикальными разломами [1] или наоборот нереальный «грабен», сложенный более древними терригенными породами (Л.А. Фиколина и др., 2008, 2016 гг.), фактическими данными не под-

тверждается. Для составления более точной структурной карты основания карстовых массивов необходима сейсморазведка, бурение и специальные топографические работы по массовому более точному определению абсолютных отметок подошвы известняков в обнажениях.

Литература

1. Амеличев Г.Н., Тимохина Е.И., Токарев С.В. и др. Идентификация гипогенного карста на северном склоне Карабийского массива (Горный Крым). Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского Серия «География». - 2014. - Том 27 (66), № 2.- С. 91-107.
2. Головцын В.Н., Дублянский В.Н., Смольников Б.М. и др. Применение геоэлектрических методов исследований к решению основных проблем карста Горного Крыма. Киев: Наукова думка, 1966. – 150 с.
3. Юдин В.В. Геологическая карта и разрезы Горного, Предгорного Крыма. Масштаб 1:200000. "Союзкарта". - Симферополь, 2009. (в печати издание второе, дополненное 2018 г.)
4. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь, ДИАЙПИ, 2011. – 336 с.
5. Юдин В.В. Тектоника карстового массива Чатырдаг в Крыму // Спелеология и карстология. Симферополь, 2012. - № 8. – С. 5-17.
6. Юдин В.В. Геология Крыма. Фотоатлас. Симферополь. ИТ «Ариал», 2017. – 160 с.

УДК: 556.314

ОЦЕНКА КАРСТООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ОБЩЕГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Ковалёва Т.Г.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия; kovalevatg@mail.ru*

***Аннотация:** Общегеологический подход основан прежде всего на анализе влияния геологического строения и гидрогеологических условий карстового массива на распределение форм поверхностного и подземного карста. Методические разработки базируются в первую очередь на доступности получения качественных и количественных характеристик геолого-гидрогеологического строения, необходимых для прогноза.*

***Ключевые слова:** карст; геологическое строение, гидрогеологические условия, карстоопасность.*

ASSESSMENT OF KARST DANGER ON THE BASIS OF THE GENERAL GEOLOGICAL APPROACH

Kovaleva T.G.

Perm state university, Perm, Russia; kovaleva@mail.ru

Abstract: *General geological approach is based first of all on the analysis of influence of a geological structure and hydrogeological conditions of the karst massif on distribution of forms of a superficial and underground karst. Methodical developments are based first of all on availability of receipt of the quality and quantity characteristics of a geological and hydrogeological structure necessary for the forecast.*

Keywords: *karst; geological structure, gidrogeological conditions, karst danger; karst massif, karst forms.*

Общегеологическая основа при оценке карстоопасности территорий в современных условиях производства инженерно-геологических исследований часто используется в наиболее общем виде без должного учета особенностей инженерно-геологических (в том числе техногенных) и геотехнических условий развития карстового процесса и его проявлений в основании сооружений, либо игнорируется вовсе. Более того, значимые упущения в оценке карстоопасности зачастую являются результатом недостаточного понимания самой природы карстового процесса в целом и особенностей его протекания в конкретных природно-техногенных условиях, следствием чего являются ошибки в применяемых противокарстовых мероприятиях [3].

Очевидно, что в пределах каждого типа обстановки закономерности развития и распределения карста, а, следовательно, и карстологический прогноз обладают специфическими чертами.

В практике инженерно-геологических и карстологических изысканий довольно часто возникает необходимость оценки карстоопасности и определения категории устойчивости относительно провалообразования ограниченных участков с высокой плотностью как поверхностных, так и подземных карстопоявлений. Такого рода случаи характерны для урбанизированных, уже освоенных, территорий, в пределах которых возникает необходимость в строительстве дополнительных объектов. Зачастую без привлечения специалистов-карстоведов и без знания особенностей карстового процесса и распространения карстовых форм весь участок представляется карстоопасным, и от идеи нового строительства в его пределах отказываются. Тогда как сложность решения подобной задачи для специалиста-карстооведа состоит в ограниченности площади исследуемой территории, характеризующейся практически одинаковыми геолого-гидрогеологическими условиями, что требует использования нетрадиционных подходов и применения нетрадиционного анализа ситуации [1]. Проблема состояния геологической среды в пределах урбанизированных территорий (градпромышленные агломерации и отдельные города), расположенных в зоне развития карстующихся пород, занимает особое место. Для этих территорий характерно не только развитие опасных динамично развивающихся деформационных явлений (карстовые и карстово-суффозионные провалы и просадки) в основаниях зданий и сооружений, на полотне железных и автомобильных дорог, на трассах продуктопроводов с последующим выводом этих инженерных объектов из эксплуатации, но и ухудшение экологической ситуации (интенсивное загрязнение подземных и поверхностных вод), а как следствие, обострение социально-экономических проблем.

Практика выполнения исследований на урбанизированных территориях с интенсивными карстопроявлениями свидетельствует о том, что оценка карстоопасности должна базироваться на группах природных и природно-техногенных признаков и параметров и осуществляется на основе применения комплекса разнообразных, в том числе и нетрадиционных методов. Наиболее общая схема для осуществления такой оценки должна включать в себя всесторонний анализ природной обстановки исследуемой территории, естественно, в первую очередь анализ, выполняемый на уровне предварительной оценки. Очевидно, что природные условия должны быть оценены в рамках поставленных задач по комплексу характерных для данной территории геологических, гидрогеологических, геоморфологических, структурно-тектонических и инженерно-геологических признаков и параметров. Признаки могут иметь качественную нагрузку, а параметры каждой группы комплекса обуславливаются набором отдельных числовых показателей.

Разные территории обладают разнообразным набором геолого-гидрогеологической информации, из которого на основе анализа баз данных и картографического материала на первом этапе оценки карстоопасности необходимо выбрать существенные показатели, которые непосредственным образом влияют на интенсивность процесса. На следующем этапе производится анализ выбранных показателей и выделение наиболее карстоопасных интервалов их значений для отдельных участков территорий, имеющих различное геолого-гидрогеологическое строение [4]. Базовыми признаками и параметрами комплексной оценки опасности развития карстового процесса являются группы геологических (например, особенности строения массива горных пород, включая не только анализ мощностей, но и элементы пликтивной и дизъюнктивной тектоники; водно-физические и физико-механические свойства карстующихся и перекрывающих отложений, их структурно-текстурное состояние) и гидрогеологических (например, динамика изменения водообильности горизонтов подземных вод, их гидрохимические параметры) показателей (факторов). Обязательным условием является то, что определяемые в процессе исследований признаки-факторы и параметры должны учитываться в комплексе, дополнять друг друга, а в совокупности должны наиболее полно и объективно характеризовать специфику обстановки развития и проявления карстового процесса.

Оценка карстоопасности на основе анализа геолого-гидрогеологических факторов в итоге подразумевает выделение в составе всей совокупности признаков-факторов, влияющих на распределение карстовых форм, трех интервалов соответствующих показателей, выраженных в количественной форме – «опасного», «условно опасного» и «неопасного». Границы между интервалами устанавливаются по резкому уменьшению (увеличению), например, количества карстопроявлений (или их размеров) на гистограммах частоты встречаемости соответственно значениям конкретного показателя строения территории. В пределы опасного интервала «попадает» наибольшее количество карстопроявлений (или карстопроявлений с максимальными морфометрическими показателями). В случае нескольких максимумов встречаемости карстовых форм по значениям исследуемого показателя (неоднородность распределения) может быть выделено два и более опасных интервалов значений [2, 5].

Таблица 1

Комплекс геолого-гидрогеологических признаков-факторов, используемых для предварительной оценки карстоопасности

Группа показателей	Признаки-факторы
геоморфологического строения	<ul style="list-style-type: none"> - абсолютные отметки рельефа поверхности, м; - надпойменные террасы и уступы террас; - уклон земной поверхности, градусы; - экспозиция склона, градусы
геологического строения	<ul style="list-style-type: none"> - тип геологического разреза; - глубина залегания кровли карстующихся иренских отложений, м; - глубина залегания кровли неоген-четвертичных обвальнo-карстовых отложений, м; - мощность четвертичных дисперсных отложений, м; - мощность неоген-четвертичных обвальнo-карстовых отложений, м; - общая мощность перекрывающих отложений (четвертичных и неоген-четвертичных), м
структурно-тектонического строения	<ul style="list-style-type: none"> - линейная плотность линеаментов, км/км²; - плотность пересечений линеаментов, шт./км²; - показатель тектонической блочности, км²
гидрогеологических условий	<ul style="list-style-type: none"> - глубина залегания вод четвертичного аллювиально-делювиального комплекса, м; - глубина залегания подземных вод неоген-четвертичных обвальнo-карстовых отложений, м; - глубина залегания подземных вод иренского водоносного горизонта, м; - уровень подземных вод четвертичного аллювиально-делювиального комплекса, абс. м; - уровень подземных вод неоген-четвертичных обвальнo-карстовых отложений, м; - уровень подземных вод иренского водоносного горизонта, м; - средняя минерализация вод карстующихся отложений, г/дм³; - фациальный состав подземных вод иренских карбонатно-сульфатных отложений (по Г.А. Максимовичу), первые три преобладающие по составу химические компонента.
инженерно-геологического строения	<ul style="list-style-type: none"> - плотность основных разновидностей дисперсных грунтов четвертичных отложений, г/см³; - коэффициент пористости основных разновидностей дисперсных грунтов четвертичных отложений, д.е.

Оценка карстоопасности на основе общегеологического подхода была выполнена автором для ряда территорий развития карбонатно-сульфатного карста Пермского края (г. Кунгур, п. Полазна, с. Усть-Кишерть). Наиболее полный ком-

плекс геолого-гидрогеологических признаков-факторов, определенный для карбонатно-сульфатного карста Предуралья, представлен в таблице 1. Данный комплекс является «мобильным», т.е. может быть дополнен или сокращен в зависимости от условий конкретной территории и имеющейся информации. Для визуализации оценки с помощью картографического материала может быть использован, например, балльный метод.

Необходимо отметить, что построение балльных шкал является процессом, зависящим от мнения исследователя. Вопрос о значимости частных показателей-признаков может решаться с помощью корреляционного, множественного регрессионного, факторного анализа. Однако основным недостатком этих методов взвешивания является то, что на различных участках территории с различным геолого-гидрогеологическим строением роль того или иного показателя может быть различной, поэтому составить универсальную балльную шкалу, работающую на разных территориях, не представляется возможным.

Литература

1. Геология и карст города Кунгура: монография / Катаев В.Н., Кадебская О.И. Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН. Пермь, 2010. - 236 с.
2. Катаев В.Н. Основы создания системы мониторинга закарстованных территорий (на примере Пермского края) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. Научный журнал. №1. М.: Академиздатцентр "Наука", 2013. - С. 25-41.
3. Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 5). – С. 1130-1135.
4. Ковалева Т.Г. Оценка карстоопасности территории г. Кунгура на основе общегеологического подхода // Вестник Пермского университета. Научный журнал. Вып. 4 (33). Геология. Пермь: Изд-во Пермск. гос. нац. исслед. ун-та, 2016. - С. 26-35.
5. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2011. Том 153, кн. 1. - С. 203-224.

УДК: 624.131.3:551.4.042

МОРФОЛОГИЯ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОКРЫТОГО КАРСТА

Нещеткин М.О.

ООО Научно-производственный центр «КАРСТ», г.Дзержинск, Россия;
karst@sinn.ru

Аннотация: Морфологический облик карстовых провалов в условиях покрытого карста зависит от механизма деформаций покровных отложений и физико-механических свойств грунтов, которые определяют устойчивость первичных провальных форм, а также особенности развития провальной впадины при обрушении ее бортов.

Ключевые слова: карст, механизм образования карстовых провалов, формы карстовых провалов.

SINKHOLE MORPHOLOGY IN COVERED KARST CONDITIONS

Neshchetkin M.O.

Scientific Production Center "KARST", Dzerzhinsk, Russia; karst@sinn.ru

Abstract: *The sinkhole morphology in covered karst conditions depends on the sinkhole development model and the physical and mechanical properties of the soils that determine the stability of the primary sinkhole forms, as well as the features of the sinkhole development during the collapse of its sides.*

Key words: *sinkhole; sinkhole development model; sinkhole morphology.*

Покрытый карст является распространенным типом карста на территории Российской Федерации, при этом карстующиеся породы нередко залегают на значительных глубинах и перекрыты нерастворимыми покровными отложениями.

Одним из районов развития покрытого сульфатного и карбонатно-сульфатного карста является Окско-Волжское междуречье (Нижегородская область).

В геологическом строении Окско-Волжского междуречья принимают участие аллювиальные четвертичные отложения мощностью от 20-40м до 100м, которые представлены в основном песками различной крупности; терригенные отложения верхнего (татарского) отдела перми мощностью до 20м; карбонатные отложения казанского яруса средней перми мощностью до 15м, которые на большей части территории разрушены до щебня, дресвы и муки или полностью смыты, а также сульфатные отложения сакмарского яруса нижней перми, представленные гипсами и ангидритами.

Основную роль в развитии карста района сыграла эрозионная деятельность пра-рек (пра-Ока и пра-Волга), в результате которой в кровле карстующихся пород сформировалась система погребенных эрозионно-карстовых врезов и останцов, в бортах которых сосредоточено большинство опасных карстовых полостей [4, 6].

В связи со значительной мощностью покровных отложений образование карстовых провалов происходит с формированием промежуточной полости в покровных отложениях, которая в силу своей неустойчивости «продвигается» к земной поверхности. Формирование провальной впадины на земной поверхности начинается с момента обрушения промежуточной полости, приблизившейся к дневной поверхности [5].

Форма карстового провала зависит от размера и формы промежуточной полости и физико-механических свойств грунтов.

В природе наблюдается многообразие форм карстовых провалов, которые можно выстроить в последовательный ряд простых геометрических форм: сводовая – цилиндрическая (крутой свод) – коническая – чашевидная – блюдцевидная.

По данным натурных наблюдений в глинистых грунтах первичные сводовые формы провалов наблюдаются значительно чаще, чем в песчаных грунтах, для которых характерны конические и чашевидные формы провалов, а сводовидные провалы регистрируются крайне редко в связи с неустойчивостью сводов в песках.

Встречаются провалы и сложного морфологического облика с формированием вокруг провальной впадины зоны специфических деформаций грунтов в виде концентрических трещин, ступеней оседания, общего оседания с наклоном поверхности, что обусловлено явлениями бортового отпора.

Возникновение и формирование зоны бортового отпора не всегда регистрируется вокруг молодых провалов, но для многих древних карстовых впадин характерно наличие малоамплитудного кольцевого понижения вокруг центральной части впадины.

Устойчивость первоначальной формы провала определяется предельным равновесием вертикального откоса. Величину устойчивого вертикального откоса (h_{90}) для грунта, у которого $\varphi \neq 0$ и $C \neq 0$ можно определить по формуле [1-3]:

$$h_{90} = \frac{2C}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

где C - удельное сцепление грунта, кПа, γ - удельный вес грунта, кН/м³, φ - угол внутреннего трения грунта, град.

По нашим расчетам для мелких кварцевых песков при $C = 0,5-6,0$ кПа, $\varphi = 26-38^\circ$, h_{90} будет изменяться в пределах 0,1-1,24 м.

Для глинистых грунтов при $C = 23,0-50,0$ кПа, $\varphi = 17-21^\circ$, h_{90} будет изменяться в пределах 3,41-6,89 м.

При этом для песков и глинистых грунтов наблюдается устойчивое отношение h_{90}/C , что свидетельствует о ведущей роли удельного сцепления грунта в устойчивости первоначальной формы провала.

В заключение следует отметить, что в условиях покрытого карста формирование первичного облика карстового провала и дальнейшее развитие провальной впадины до устойчивой формы подчиняется законам механики грунтов, поэтому прогнозы вероятных размеров и форм карстовых провалов должны основываться на изучении механизма провалообразования, особенностей геологического строения района и физико-механических свойств покровных отложений.

Литература

1. Галустьян Э.Л. Геомеханика открытых горных работ. Справочное пособ. - М.: Недра, 1992. - 272 с.
2. Дашко Р.Э. Механика горных пород. Учебник для вузов. - М.: Недра, 1987. - 264 с.
3. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
4. Нещеткин М.О. Инженерно-геологическая оценка гидратации ангидритов и эрозии сульфатных пород в районах развития сульфатного карста речных долин. Инженерная геология, 2015. - № 4. - С. 54-62.
5. Нещеткин О.Б. Механизм образования карстовых провалов. Часть I. Моделирование.

Инженерная геология, 2017. - №5. - С. 40-51.

6. Нецеткин О.Б., Сафронова А.А., Ильин А.Н. Геодинамика сульфатного карста Окско-Волжского междуречья. Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий. Материалы Межд. симп. Екатеринбург, 2001.

УДК: 624.131.3

РОЛЬ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ПРОВАЛА В ИНЖЕНЕРНО-КАРСТОЛОГИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ

Щербаков С.В.

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ), лаборатория прогнозного моделирования в геосистемах, Пермь, Россия; sherbakov.lpmg@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается наиболее общий механизм образования большинства провалов и оседаний в районах развития покрытого карста на примере максимально генерализованных схем. Указывается о необходимости учета генезиса поверхностных деформаций рельефа, как одного из ключевых факторов, оказывающих влияние на точность инженерно-геологического прогноза в районах развития карста.

Ключевые слова: карст, карстоопасность, карстовые деформации, провал.

ROLE OF SINKHOLE MECHANISM DEVELOPMENT IN ENGINEERING GEOLOGICAL PROGNOSIS

Shcherbakov S.V.

Perm State University (PSU), Laboratory of prognostic modeling in geosystems, Perm, Russia; sherbakov.lpmg@mail.ru

Abstract: In article considered most general mechanism of sinkholes development in areas with covered karst on the example of maximum generalized schemes. Mentioned about necessarily taking into account of genesis of surface deformations, as one of the basic factors influenced on the accuracy of engineering geological prognosis in the regions with development of karst.

Key words: karst, karst hazard, karst deformations, sinkhole.

В инженерном карстоведении известно два принципиальных механизма образования провалов и оседаний поверхности земли в условиях покрытого карста – карстово-обвальный и карстово-суффозионный. Все поверхностные карстовые формы образуются либо по первому, либо по второму сценарию, либо в результа-

те совместного действия обоих этих механизмов (карстово-суффозионно-обвальный). Детально частные случаи механизма формирования провалов и локальных оседаний в карстовых районах рассмотрены в работах В.В. Толмачева и Ф. Ройтера [3], В.Н. Андрейчука [1], В.П. Хоменко [4, 5] и А.В. Аникеева [2]. Согласно В.В. Толмачеву и Ф. Ройтеру [3] с определенной долей приближения карстовые формы в карбонатных породах можно с инженерно-геологической точки зрения считать аналогами карстовых форм в сульфатных породах в отношении механизма их образования.

Принципиальные схемы формирования поверхностных карстовых деформаций по двум выше названным механизмам приведены на рисунке 1. Данные схемы являются обобщенными, т.к. не учитывают следующие моменты:

- возможность моментального обрушения покровной толщи грунтов в карстовую полость, залегающую на глубинах, превышающих 20-30 м, в результате чего происходят катастрофические провалы больших диаметров;
- зональность и этажность карстологического массива, часто выражающуюся через наличие нескольких глубинных горизонтов развития полостей, приуроченных к разновозрастным толщам карстующихся пород;
- характер напластования покровных грунтов;
- наличие в покровной толще нескольких грунтовых водоносных горизонтов;
- наличие, уровни и напор трещинно-карстовых подземных вод;
- характер и масштабы проявления химической суффозии, с которой связано растворение карбонатного и сульфатного цемента в некарстующихся полускальных грунтах (песчаниках, алевролитах и пр.), выщелачивание и деградация глинистых грунтов за счет растворения и выноса солей и др.

Отмеченные выше допущения, безусловно, влияют на ход течения процесса развития деформаций в толще грунтов и на конечную форму и размеры деформации на поверхности земли. Однако при этом общий принцип формирования таких деформаций остается неизменным.

Общим моментом схем А1, А2 и В1 (рис. 1) является то, что обрушение полости закладывается в ослабленной зоне в сводовой части, либо в некарстующихся перекрывающих грунтах (схемы А1, А2), либо непосредственно в карстующихся породах (схема В1). При сравнительно небольшой структурной прочности пород вследствие собственного веса и давления вышележащих пластов, в сводах таких полостей возникают различные деформации, трещины, что приводит к обрушению пород. Обрушение сводов приводит в свою очередь к накоплению обломков и полость постепенно перемещается вверх. Это достаточно длительный процесс, характеризующийся слабой интенсивностью, в ходе развития которого выделяется ряд стадий различной продолжительности.

Механизм образования провалов в результате обрушения сводов некарстующихся отложений (рис. 1, схема А) наблюдается в условиях покрытого карста, в том случае, когда перекрывающая толща представлена рыхлыми четвертичными и подстилающими их коренными глинистыми или полускальными отложениями. Заметим, что своды обрушения закладываются в пределах участков, где породы имеют выраженную трещиноватость, определяемую тектоническим фоном, при условии колебаний уровней трещино-карстовых подземных вод от безнапорного

до напорного режимов фильтрации в течение годового цикла. В конечном счете, полость проявляется на поверхности в виде карстово-обвального провала, а в массиве формируется обвальная разуплотненная толща грунтов (рис. 1, схема А1). С наличием подземных вод в толще рыхлых дисперсных отложений возможна активизация суффозионного процесса, в результате действия которого в открытую полость постепенно привносится рыхлый материал, а на поверхности постепенно формируется карстово-суффозионная просадочная мульда (оседание), а в случае дальнейшего развития суффозионного процесса – карстово-суффозионно-обвальный провал (рис. 1, схема А2).

В условиях залегания полости в карстующихся монолитных отложениях (рис. 1, схема В1) прямое обрушение сводовой части сопровождается активным растворением породы по системам субвертикальных структурных трещин, пронизывающих карстовый массив. Вертикальные размеры полостей постепенно увеличиваются по направлению к поверхности, принимая вид органной трубы. По мере дальнейшего растворения и выщелачивания карстующихся отложений полость приближается к толще рыхлых перекрывающих отложений. В определенный момент времени удерживающие усилия в перекрывающей толще отложений сменяются сдвигающими и полость выходит на поверхность в результате резкого обрушения и образования провала.

Следует отметить, что механизм формирования карстово-суффозионных и карстово-суффозионно-обвальных оседаний и провалов, образующихся в условиях заложения полости в толще трещиноватых, раздробленных карстующихся пород, перекрытых песчано-глинистыми грунтами (рис. 1, схема В2), принципиально отличается от механизма образования подобных форм в условиях, описываемых схемой А2 (рис. 1). В данном случае суффозионный вынос носит более интенсивный характер и может наблюдаться по всей площади поверхности кровли карстующихся пород, что приводит к более широкому развитию локальных оседаний на дневной поверхности, некоторые из которых могут развиваться и переуглубляться на протяжении многих лет. Не исключается и образование провалов, в том числе больших диаметров, при условии, залегания карстующейся толщи на значительных глубинах, как правило, превышающих 30 м.

Таким образом, формирование карстово-суффозионных (оседания) и карстово-суффозионно-обвальных (провалы) деформаций (схемы А2, В2, рис. 1) становится возможным при соблюдении следующих условий:

- наличие выдержанного по мощности одного или нескольких горизонтов грунтовых вод, уровни которых подвержены постоянным колебаниям в течение года;
- наличие песчаных или супесчаных прослоев в покровной толще, подверженных суффозионному выносу;
- наличие трещин в кровле карстующихся и перекрывающих их относительно водоупорных глинистых или полускальных грунтов.

Для формирования локальных оседаний на поверхности земли, а в некоторых случаях и провалов, не обязательно наличие полостей-приемников в толще карстующихся пород. Для их развития достаточным условием является раздробленность и наличие разветвленной системы трещин в толще покровных относительно

водоупорных глинистых (полускальных) или карстующихся пород. Зачастую, такие участки в толще грунтового массива связаны с погребенными корами выветривания и с зонами дробления в карстующейся толще.

Ко всему выше сказанному следует добавить, что случаи развития карстового процесса только по «классическому», карстово-обвальному механизму, достаточно редки. В действительности гидрогеологические условия, в которых находится грунтовый массив, в течение года могут существенно изменяться. При этом механизмы развития карстовых деформаций также могут чередоваться ($A1 \rightarrow A2 \rightarrow A1$, $B1 \rightarrow B2 \rightarrow B1$, рис. 1). К сожалению, объективно количественно оценить вклад каждого из двух обозначенных выше механизмов даже в процентном соотношении для конкретной карстовой формы, одновременно рассматривая ее в привязке к инженерно-геологическим условиям в месте ее локализации, на сегодняшний день представляется сложно выполнимой задачей.

Отдельно стоит упомянуть, что схемы А и В (рис.1) не являются строго самостоятельными и могут в различных пропорциях накладываться друг на друга в зависимости от геологического строения массива.

В заключение отметим, что далеко не всегда карстовая полость в процессе своего развития достигает приповерхностной части и приводит к формированию оседания или провала. Нередки случаи, когда объем накапливаемого обрушенного и разрыхленного материала превосходит объем пород в естественном плотном залегании в условиях пласта, что зачастую ведет к смыканию обвальной части со сводом полости, после чего обвальный процесс затухает и полость более не развивается. Аналогичное явление также может наблюдаться при ограниченной аккумулятивной емкости карстующейся толщи. В любом случае, в толще массива образуется раздробленная разуплотненная зона пород, которая в ходе дальнейшего развития, привноса дисперсных частиц и уплотнения обломочного материала превращается в карстовую брекчию.

Таким образом, размеры поверхностных карстовых деформаций зависят от механизма протекания карстового процесса, который определяется структурно-тектоническим планом (система трещин и разломов, неотектонические движения и пр.), геологическим строением (мощностью и чередованием различных грунтовых слоев), гидрогеологическими условиями и физико-механическими свойствами грунтов. На сегодняшний день известны три основных механизма деформирования грунтов над карстовой полостью (рис. 1): карстово-обвальный, карстово-суффозионный и карстово-суффозионно-обвальный. Даже в условиях одной площадки данные механизмы могут чередоваться в течение года, что делает процесс карстообразования в части определения диаметров провалов и оседаний трудно прогнозируемым. Однако и при такой большой неопределенности верное решение инженерной задачи в части оценки карстоопасности участка не может быть достигнуто без учета механизма развития процесса в грунтовой толще.

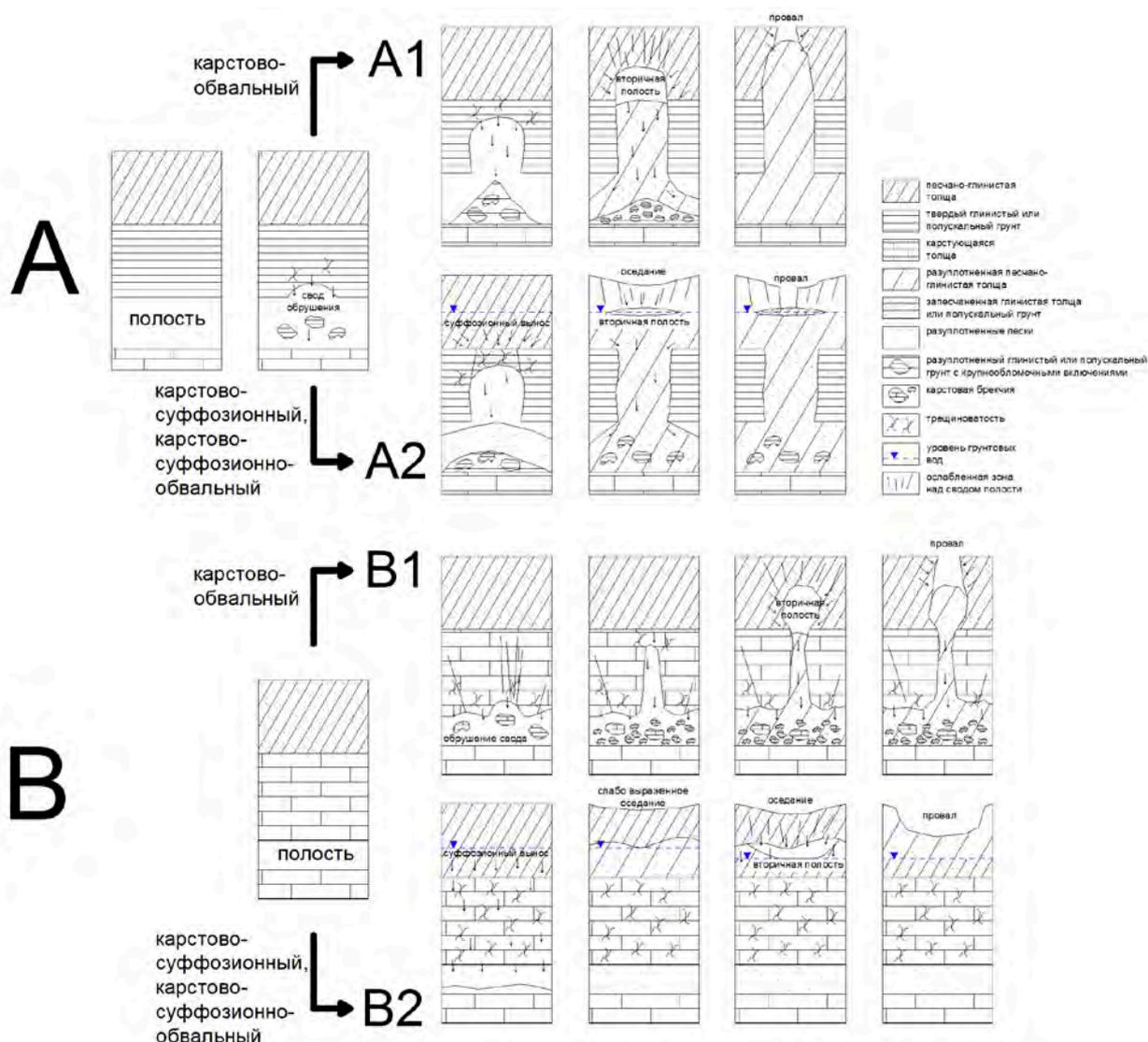


Рис.1. Общая схема формирования поверхностных карстовых деформаций (пояснения см. в тексте).

Литература

1. Андрейчук В.Н. Провалы над гипсовыми пещерами-лабиринтами и оценка устойчивости закарстованных территорий. Черновцы: Прут, 1999. - 52 с.
2. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. Москва: РУДН, 2017. - 328 с.
3. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстование. М.: Недра, 1990. - 151 с.
4. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. - 216 с.
5. Хоменко В.П. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума / Под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. - С. 50-60.

УДК: 551.44

ПРОБЛЕМЫ ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ КАЗАНИ

Гунько А.А.

*Набережночелнинский государственный педагогический университет,
г. Набережные Челны, Россия; gunko.a@mail.ru*

Аннотация: *Рассматриваются территории вокруг г. Казани, где в XIX–XX вв. велась подземная добыча камня. Многие материалы об этих горных разработках оказались утеряны. На нескольких участках наблюдается интенсивное провалообразование, связанное с обрушением выработок. Подработанная территория частично освоена либо активно осваивается в настоящее время. Образующиеся провалы представляют существенную опасность для хозяйственных и жилых зданий.*

Ключевые слова: *горные выработки, провал, Казань.*

PROBLEMS OF UNDERMINING TERRITORIES AROUND KAZAN

Gunko A.A.

Naberezhnye Chelny State Pedagogical University, Naberezhnye Chelny, Russia

Abstract: *The territory around Kazan city, where in the XIX-XX centuries was mining of stone, are considered. A lot of materials about these minings were lost. In several areas there are an Intensive sinkhole processes, associated with the collapse of excavations. Undermining territory is partially developed, or actively developed at the present time. Forming sinkholes are a significant danger for the economic and residential buildings.*

Key words: *mining, sinkhole, Kazan.*

Казань относится к числу городов со стремительно развивающейся жилой и хозяйственной застройкой. Возрастающая потребность в земельных участках вынуждает использовать ранее не освоенные внутригородские и пригородные территории, среди которых оказались площади, где в прошлом велась открытая и подземная добыча камня. По окончании эксплуатации все горные выработки перешли в естественную стадию своего развития, в период которой основным процессом, формирующим облик подземного пространства, становится гравитационный рост – обрушение сводов и смещение полости вверх. Подобные явления, как и карстовые, могут иметь катастрофический характер, приводя к повреждению зданий [2].

Активная добыча камня в окрестностях Казани производилась с XVIII в., сначала кустарным способом, а затем с 1930-х гг. в промышленных масштабах. Ка-

мень добывался для строительных нужд, мощения улиц и производства извести. Основные каменоломни были сосредоточены на нескольких участках к востоку от города вблизи сел Царицыно, Аки, Белянкино, а также на противоположном берегу р. Волги у с. Печищи. Наиболее изученными в настоящее время являются Печищенский и Акинский участки.

Печищенский участок. Располагается на северо-восточной окраине с. Печищи, где с 1930-х гг. велась подземная добыча камня. Первые провалы на Печищенском месторождении начали отмечаться в 1950–60-е гг. [5]. В настоящее время на площади 25 тыс. м² наблюдается 19 провалов, диаметром до 25 м (рис. 1). В 2004 г. на участке образовался провал диаметром 1,7 м, вскрывший свод обширной вторичной полости, достигающей высоты 18 м (рис. 2). С ее дна удалось проникнуть в несколько соседних камер, также образованных гравитационными процессами. Высота сформировавшихся в них обвальных куполов достигает 12–14 м, что говорит о неизбежности возникновения новых провалов. В камеры основной системы каменоломен попасть не удалось, но можно предполагать, что ситуация там сходная.



Рис.1. Поверхность над участком Печищенского месторождения: слева – аэрофотоснимок 1942 г.; справа – космоснимок 2016 г.

Акинский участок. Протягивается вдоль правого берега р. Киндерка от с. Киндери до Акинского водозабора. Здесь, по архивным данным, на начало 1940-х гг. располагались три горные выработки, представлявшие собой штольни длиной от 100 до 327 м и отходящие от них системы штреков со сбоями. В них разрабатывались известняки и доломиты верхнеказанского яруса перми. Обследование участка выявило многочисленные следы добычи камня подземным способом, включая артельные дореволюционные выработки. С 2003 г. нами ведется мониторинг поверхности участка. За этот период фиксировалось развитие старых и появ-

ление новых провалов. Всего наблюдается четыре группы провалов. Три из них – к северо-востоку и востоку от акинского источника. Первая образует полосу шириной до 50 м, протягиваясь с юго-запада на северо-восток на более чем 300 м. На северо-востоке она охватывает склоны оврага, разделяющего части с/т «Родник-4». Здесь отмечаются следы многочисленных точильных рвов, по которым велась откатка камня на поверхность, а также большое число провалов диаметром 2,0–6,5 м и глубиной до 3,5 м (рис. 2). Провалы сосредоточены в зоне неглубоко заложённых артельных выработок (около 4–6 м от поверхности) и вскрывают системы полостей, сформировавшихся в результате их гравитационного дрейфа. Наиболее крупная из полостей имеет общую протяжённость 155 м. В её юго-западной части сохранился фрагмент коренного штрека, протяжённостью около 8 м и высотой 1,7–1,9 м, дающий представление о характере и условиях добычи камня [1]. По северо-западной окраине группы провалов с целью оконтуривания подработанной зоны осуществлено бурение 17 скважин глубиной до 25 м. По ряду скважин был зафиксирован провал инструмента на глубине 5,5–9,0 м от поверхности. Глубина его провала составляла 2,5–3,0 м, что соответствует высоте горных выработок и вторичных полостей.



Рис.2. Провалы: слева – Печищенское месторождение (фото 2005 г.), справа – Акинское месторождение (фото 2017 г.)

Вторая группа расположена севернее и вытянута с северо-запада на юго-восток полосой шириной до 135 м и протяжённостью свыше 300 м. Здесь фиксировалось 16 провалов диаметром 5,5–14 м. Удаленность от края массива, а также крупные размеры провалов указывают на их принадлежность к выработкам наиболее позднего периода промышленного освоения месторождения. В настоящее время большая часть провалов засыпана. В общей сложности в пределах указанных групп за период с 2003 г. произошло 6 новых провалов.

Третья группа находится в 300 м к востоку от акинского источника между северной окраиной пос. Аки и с/т «Родник-4». Здесь выявлен комплекс точильных

рвов и провалов на площади около 4 тыс. м².

Четвертая группа расположена в 850 м к северо-западу от источника в пределах карьера и расположенного над ним массива. Здесь на площади свыше 40 тыс. м² зафиксировано более 20 провалов диаметром до 12 м. Провалы, образовавшиеся в донной части карьера, вскрывают участки обрушенных выработок длиной до 15 м с остатками деревянной крепи.

При многолетнем наблюдении естественного развития искусственных выработок Акинского участка нами выявлены следующие этапы образования провалов: 1 этап – обрушение крупных блоков кровли выработки с образованием ступенчатого свода обрушения и ростом полости на 0,5–1,5 м от коренного штрека; 2 этап – обрушение сильнотрещиноватой пачки доломитов с образованием «арочного» свода обрушения и его достижения татарского яруса с ростом полости до 3,0–4,5 м от коренного штрека; 3 этап – обрушение пород татарского яруса с образованием локального «ствола» обрушения, достигающего поверхности; 4 этап – обрушение стенок «ствола», расширение диаметра провала на поверхности, стремящегося к размерам первоначального штрека; 5 этап – расширение краев провала за счет размывания пород татарского яруса, естественная кальматация вскрывшейся полости и образование блюдцеобразной воронки, с последующим освоением растительностью.

Проблемы использования территории. В пределах выработок, доступных для изучения, процессы гравитационного роста охватили более 90 % их площади. Степень смещения вторичных полостей такова, что многие из них уже критически близки к поверхности. Прогнозированию ситуации могла бы способствовать документация горных предприятий, однако материалы, непосредственно касающиеся горных выработок, были обнаружены лишь в отчете их обследования отрядом ЭОН [4]. В них содержится только общая информация о размерах и направлениях работ на начало 1942 г. Документы по выработкам более раннего периода (артельные, до 1920-х гг.) могли отсутствовать изначально или были утеряны. Несмотря на то, что еще в литературе 1970-х гг. воронки на правом берегу р. Киндерки связывали со «старыми подземными выработками строительного камня» [3], в последние десятилетия в качестве причин образования провалов стали указываться карстовые процессы. Акинский участок используется для полевых практик студентов Казанского университета именно как «карстовый» полигон. Такая ошибочная интерпретация процессов долгое время не позволяла с должным вниманием отнестись к проблеме.

В настоящее время на Акинском участке располагается ряд садовых товариществ, которые попадают либо могут попадать в пределы подработанной территории. В процессе опроса владельцев участков с/т «Росинка-4» выяснилось, что на территории товарищества провалы происходили неоднократно. Как правило, они устранялись силами собственников, путем засыпки. Более широкую известность получил провал шириной 4 м и глубиной 8 м, произошедший здесь в июне 2011 г. Он привел к обрушению веранды дачного дома.

Только на Акинском участке площадь подработанной территории может превышать 300 тыс. м². Вместе с тем в непосредственной близости от нее возводится

коттеджный поселок, а к северу от ул. Родник вблизи отмеченных провалов расположены гаражи гск «Родник», здания и стоянка автотехники.

За дальнейшей эксплуатацией территории, в особенности при ее использовании под жилую малоэтажную застройку и размещение производственных предприятий, необходим государственный надзор. Без дополнительных изысканий даже прилегающие площади должны быть отнесены к зоне риска.

На Печищенском участке требуется запрет проезда автотранспорта по дороге местного значения, проходящей над выработкой. Кроме того, необходима установка ограждения вокруг основной обвальная зона – значительная высота обрабатываемых вторичных полостей (до 18 м) и быстро разрушающиеся стенки провала представляют собой большую опасность для людей и животных.

Литература

1. Гунько А.А., Бочкарева С.В., Яковлев Е.В. Акинские каменоломни // Спелеология и спелестология: материалы международной научной конференции. Набережные Челны, НГПИ, 2010. - С. 140–142.
2. Гунько А.А. Старые горные выработки и проблемы подработанных территорий в Татарстане // Проблемы прикладной и региональной географии. Ижевск: Удмуртский университет, 2012. - С. 107–110.
3. Станкевич Е.Ф., Ступишин А.В., Горячев М.И., Захаров М.М. Карст центральной части г. Казани // Карст равнинных территорий Европейской части СССР. Казань: КГУ, 1974. - С. 49–65.
4. Укрытия бассейна р. Оки, районов Казани, Камского Устья и Куйбышева /Предварительный отчет/ под ред. Ферсмана А.Е. – Москва–Свердловск, 1942.
5. Чарушин Г.В. Новейшие провалы в Среднем Поволжье// Известия ВГО. – Л. 1970.– Т. 102, В. 6. - С. 552–556.

УДК:551.44

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРСТОВОГО МАССИВА КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ И ЛЕДЯНОЙ ГОРЫ

Глоба К.Н., Богомаз М.В.

ПФИЦ УрО РАН, Кунгурская лаборатория-стационар, Кунгур, Россия;
mbog_kungur@mail.ru, kscheurina@mail.ru

Аннотация: Большинство современных задач, которые ставят перед собой учёные, требуют трёхмерной постановки и объёмных количественных характеристик. Трёхмерная геологическая модель массива Кунгурской Ледяной пещеры и Ледяной горы в динамике отражает процесс карстообразования и позволяет определить этапы формирования карстовых форм. Модель помогает изучить процесс развития сульфатного карста, его основных параметров и закономерностей, которые могут быть использованы для прогнозирования опасных провальных явлений в городских условиях.

Ключевые слова: Кунгурская Ледяная пещера, карстоопасный массив, трехмерная модель, системы автоматизированного проектирования.

THE THREE-DIMENSIONAL MODEL OPERATION OF THE KARST MASSIF KUNGUR ICE CAVE AND ICE MOUNTAIN

Globa K.N., Bogomaz M.V.

Perm Federal Research Center of Ural Branch of RAS, Kungur laboratory, Kungur, Russia; mbog_kungur@mail.ru, kscheurina@mail.ru

Abstract: *The majority of the modern tasks which are set for themselves by scientists demand three-dimensional statement and volume quantitative characteristics. The three-dimensional geological model of the massif of the Kungur Ice cave and the Ice slope reflects process of a karstoobrazovaniye in dynamics and allows to define stages of formation of karst forms. The model helps to study development of a sulphatic karst, its key parameters and regularities which can be used for prediction of the dangerous failure phenomena in city conditions.*

Key words: *Kungur Ice cave, karstoopasny massif, three-dimensional model, computer-aided engineering systems.*

Как справедливо считают большинство специалистов, карст – один из наиболее сложных геологических процессов. Неизвестность развития карстовых процессов в массиве, опасность и неожиданность его проявлений, трудности изучения, специфические условия образования, наличие ещё и других геологических процессов – все эти факторы делают особенно трудным возможность его прогнозирования. Карстующиеся породы широко развиты на территории Пермского края, по разным данным, ими покрыто от 19 до 93,5% площади региона [4]. Кунгурская Ледяная пещера (далее КЛП) и вмещающая её Ледяная гора являются яркими примерами результатов карстовых явлений и привлекают внимание исследователей-карстоведов со всего мира. Изучение процессов и явлений карстообразования является визитной карточкой и первоочередной задачей деятельности Кунгурской лаборатории-стационара «ГИ УрО РАН». Кунгурский стационар, основанный в 1948 г. уже 70 лет ведёт систематические мониторинговые наблюдения за развитием карста в КЛП и ближайших окрестностях [2].

В настоящее время карст изучают с применением методов инженерно-геологического анализа, мониторинга, расчётов и экспериментов, основанных на использовании различных аналоговых моделей; весьма популярны методы математического моделирования, но в получаемых данным способом идеализированных моделях невозможно учесть всех особенностей строения массива горных пород и происходящих в нём процессов [3]. Геомеханическая оценка состояния карстоопасного массива требует трёхмерной визуализации объекта и объёмных количественных характеристик. Существующие геоинформационные системы (далее ГИС) и системы автоматизированного проектирования (далее САПР) позволяют создать трёхмерную модель пещеры. В данной статье описан процесс создания трёхмерной модели карстового массива КЛП и Ледяной горы, рассмотрены ос-

новные этапы построения, плюсы и минусы предлагаемого метода геометризации выработок.

В 1964 году сотрудником стационара Дорофеевым Е.П. был составлен инструментальный достоверный и полный план пещеры с анализом пройденных теодолитных ходов, которым и сегодня пользуются учёные [1]. В 2017 г. были начаты работы по тахеометрической съёмке подземных галерей, осыпей, озёр, экскурсионной тропы, несущих и ограждающих конструкций (стен, колонн, анкеров, бытовых сооружений) для составления нового уточнённого плана пещеры. В 2017 г. сотрудниками лаборатории выполнена съёмка земной поверхности Ледяной горы в пределах горного отвода и составлен план поверхности в М 1:1000. Измерения в пещере выполнены с помощью электронного тахеометра LEICA, затем обработаны и визуализированы в программах Microsoft Office Excel, САПР Autodesk AutoCAD Civil 3D и ГИС ArcGis. Используя безотражательную технологию и лазерный визир, были сняты контуры гротов, антропогенных сооружений, трещин и контактов геологических разностей пород. Всего в пещере было заснято около 12000 точек. При построении модели в программе AutoCAD Civil 3D геометрически каждый грот разбивался на отдельные поверхности: боковые, поверхности кровли, почвы гротов, поверхности осыпей, глади озёр. Все точки были разделены на группы по данным поверхностям, загружены в чертёж на отдельные слои. С помощью команд ПОЛИЛИНИЯ или 3D-ПОЛИЛИНИЯ были нарисованы контуры поверхностей (рис.1). Обязательным при построении было точное совпадение линий стыков смежных поверхностей. В меню команды ПОВЕРХНОСТЬ (TERRAIN) были созданы последовательно все поверхности. Затем чертёж был импортирован в программу Autodesk 3ds Max для выполнения задачи текстурирования. Чтобы объект на трёхмерной карте выглядел реалистично, поверхности были покрыты текстурами. Текстура представляет собой растровое изображение поверхности частей объекта, их формирование выполнено по цифровым фотографиям.

Полученная трёхмерная модель грота позволила увидеть взаиморасположение гротов пещеры и поверхностных карстовых форм в пространстве с разных ракурсов (рис.2). Возможность изображения на модели геологических структур, разностей пород, тектонических нарушений даёт возможность анализировать карстовый процесс во взаимодействии всех факторов одновременно. Объёмная геологическая модель даёт принципиально новое видение процесса карстообразования с точки зрения тектоники, гидрогеологии, геоморфологии.

Предлагаемая методика построения трёхмерных моделей является экономически более целесообразной по сравнению с использованием электронного трёхмерного сканера. А в специфических условиях пещеры, где имеется множество отдельных глыб и каменных обломков, и более удобной. Представление всего объекта КЛП и Ледяной горы в трёхмерном виде позволяет выделить основные закономерности проявления карстовых процессов и определить этапы формирования карстовых форм. В дальнейшем в модели необходимо более детально отобразить геологические разности пород, различные типы трещин, представленные в пещере, нарушения сплошности массива, обнажения пород.

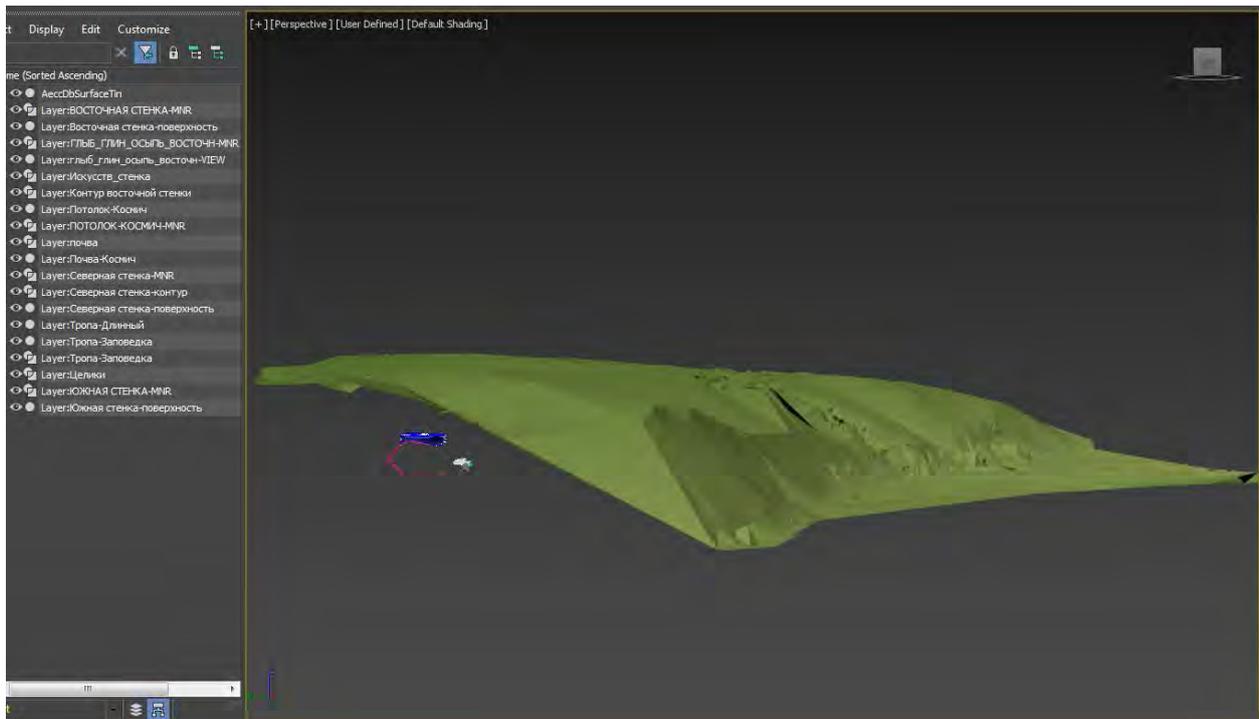


Рис. 1. Фрагмент трёхмерной модели Ледяной горы и гротов Длинный и Космический Кунгурской Ледяной пещеры, выполненный в ПО 3ds Max фирмы Autodesk

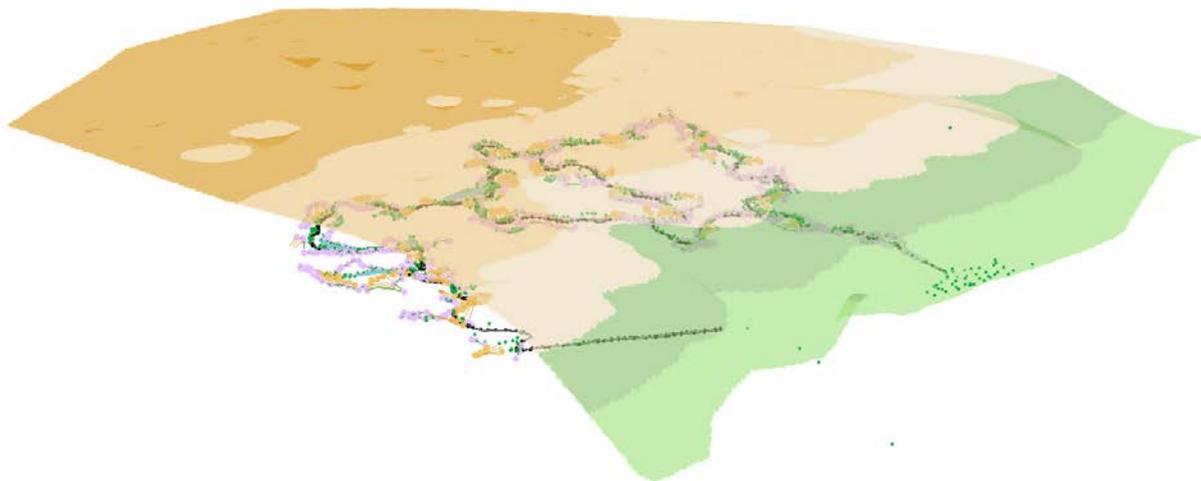


Рис. 2. Фрагмент объёмной модели Кунгурской Ледяной пещеры и Ледяной горы, выполненной в ПО ArcGis фирмы ESRI

Полученная объёмная геологическая модель в динамике отражает процесс карстообразования и может быть использована в качестве геомеханической основы для оценки напряжённо-деформированного состояния массива горных пород, что позволит обнаружить и акцентировать внимание на опасных участках вдоль экскурсионной тропы. Модель помогает изучить процесс развития сульфатного карста, его основных параметров и закономерностей, которые могут быть использованы для прогнозирования опасных провальных явлений в городских условиях, которым подвержен город Кунгур и Пермский край в целом. И самое главное мо-

дель позволяет следить за развитием пещеры и её сохранностью как геологической достопримечательности Пермского края.

Литература

1. Дорофеев Е.П. Новый план Кунгурской Ледяной пещеры // Пещеры. Пермь, 1965. - Вып. 5 (6). - С.110-113.
2. Дублянский В.Н., Кадебская О.И. и др. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений. Екатеринбург: УрО РАН, 2005.
3. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура: монография. Пермь: Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН, 2010. - С.6-7.
4. Мокрушина О.Ю., Кадебская О.И. В карстовом плену // Горное эхо. Пермь, 2008. -№3-4 (33-34) .

УДК: 550.837.312

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ И ТРЁХМЕРНОГО ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ КАРСТОВЫХ ЗОН НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ИЗВЕСТНЯКА

Фаге А.Н., Ельцов И.Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Российская Федерация;
faguetan@ipgg.sbras.ru*

Аннотация: *Месторождения известняка активно разрабатываются в большинстве регионов нашей страны, поскольку получаемое сырьё используется в жизненно важных отраслях экономики: производстве бетона, строительстве сооружений различного назначения, дорожном строительстве, при этом оценка запасов и планирование горных выработок часто осложняется наличием карстовых полостей. Для месторождений, находящихся в зонах распространения карстовых процессов, актуальными способами исследования геологического строения являются геофизические методы, дающие условно непрерывный разрез, а также современные средства численного моделирования. К таким методам относятся электротомография, а также численное моделирование для верификации её данных.*

Ключевые слова: *электротомография, карст, известняк, вертикальное электрическое зондирование, трехмерное численное моделирование.*

ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY AND 3D NUMERICAL MODELING FOR KARST ZONE MAPPING IN LIMESTONE DEPOSITS – A CASE STUDY

Faguet A.N., Yeltsov I.N.

Federal State Budgetary Scientific Institution Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS); faguetan@ipgg.sbras.ru

Abstract: *Limestone deposits are actively exploited in most regions of our country due to high demand for raw limestone material in many industries: cement production, construction, road construction. In the meantime, reserve calculation for these deposits and planning of mining operations is complicated by the presence of karst zones. For deposits originating in areas of active karst erosion, geophysical methods, that produce semi-continuous cross sections and complementary numerical modeling is widely used. Such methods include electrical resistivity tomography and numerical modeling of its data for verification purposes.*

Key words: *electrical resistivity tomography, karst, limestone, vertical electrical sounding, 3D numerical modeling.*

При проведении геологических изысканий на месторождениях известняков разведочное бурение на этапе проектирования горных работ способно выявить крупномасштабные зоны развития карстового процесса. Однако для участков, осложнённых относительно небольшими проявлениями карстовых зон, дискретные (точечное бурение, точечная геофизика) способы исследования малоприменимы. При этом, относительно небольшие проявления карстовых процессов способны уменьшить объем извлекаемого полезного ископаемого на 10-20 процентов [1,2].

Для этих участков актуальными являются исследования, построенные на условно непрерывных методиках: например электротомография.

Соответствующие работы были проведены в 2015 г. на участках карьера «Известковый» в Кемеровской области. Объект характеризуется наличием зон развития карстового процесса, преимущественно представленных вертикальными нарушениями известнякового массива глубиной от 2 до 10 метров и шириной от нескольких десятков сантиметров до 1 метра. Сложность поиска подобных объектов заключается в том, что обычно используемые из соображения оптимального соотношения разрешающей способности к производительности работ установки (шаг между электродами на электроразведочной линии равен пяти метрам), не дают нужное горизонтальное разрешение. Таким образом, искомые объекты проявляются неявно либо не проявляются вовсе.

На этапе проектирования полевого эксперимента было выполнено численное трёхмерное моделирование, призванное определить оптимальный шаг электроразведочной линии, эффективный для поиска аномалий с вышеуказанными параметрами. В ходе моделирования были проверены электроразведочные установки, вы-

полненные по схеме Шлюмберже и имеющие шаг между соседними электродами один и три метра. Большее расстояние было решено не проверять, поскольку из теоретических основ электроразведки на постоянном токе очевидно, что разрешение становится недостаточным для работы с объектами, имеющими горизонтальные размеры менее одного метра.

Расчёты выполнялись на следующих моделях среды:

Таблица 1

Параметры моделирования для карьера «Известковый»

Параметр	Значение
Расстояние между электродами на электроразведочной линии	1 и 3 метра
Число электродов	48
Значения УЭС среды	<ul style="list-style-type: none"> • 100 Ом·м для осадочных пород, составляющих верхний слой. • 100 Ом·м для пород, заполняющих карстовую полость. • 2000 Ом·м для известняка.
Мощности пластов	<ul style="list-style-type: none"> • 0,5 метра для верхней части (рыхлые отложения). • Не ограничена для пластов известняка.
Шаг модели	Сдвиг пластов известняка на 1 метр по оси X в положительном направлении.

Продолжение таблицы 1

Параметр	Значение
Вариации модели	<ol style="list-style-type: none"> 1. Модель с ограниченной по оси Y карстовой зоной (ширина зоны по оси Y составляет 10 метров). 2. Модель с ограниченной по оси Y карстовой зоной (ширина зоны по оси Y составляет 10 метров) и с ограничением по глубине распространения карстовой зоны (12 метров).

Приведём результаты численного трёхмерного моделирования, выполненного для определения конфигурации полевого эксперимента. Моделирование выполнялось в разработанной автором программе [3] для экспрессного численного трёхмерного моделирования данных электротомографии на графических процессорах.

Первая рассчитанная группа моделей, имела карстовую зону не ограниченную по оси Z (глубина), значительную, но не бесконечную (в смысле размеров электроразведочной установки) по оси Y (перпендикулярная оси профиля исследования) и малую по оси X (направление простирания электроразведочной линии) – см. рисунок 1.

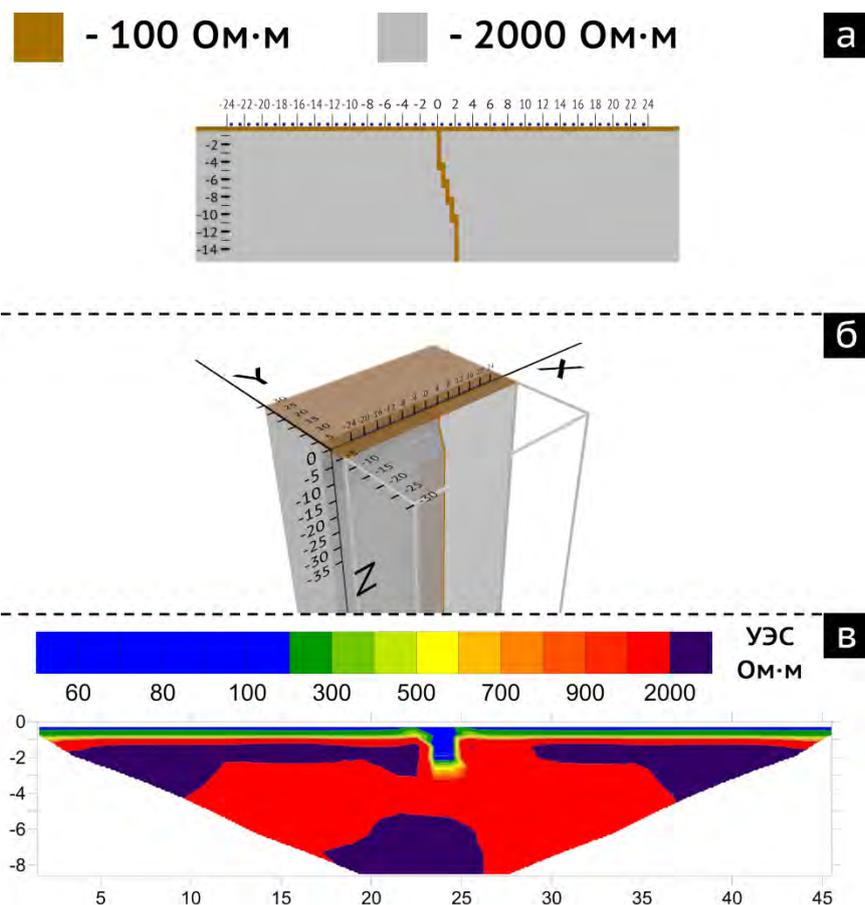


Рис.1. Схематическое изображение моделируемой среды и инверсии результатов моделирования; модель с ограниченной по оси Y карстовой зоной (протяжённость зоны по оси Y составляет 10 метров, ширина карстовой зоны по оси X составляет 0,5 метра); (а) – фронтальная проекция, (б) – трёхмерное представление, (в) – результат инверсии.

Ширина карстовой зоны увеличивалась с шагом 1 м. Результаты моделирования наглядно показывают хорошую чувствительность к этому параметру, однако, как и ожидалось, её глубина по данным электротомографии восстанавливается некорректно. Стоит отметить, что точные размеры аномальной зоны по оси X в результатах инверсии не совпадают с таковыми в модели: разница составляет примерно 0,7-0,9 метра в большую сторону для инверсии. Эта величина остаётся практически неизменной при увеличении ширины карстовой зоны, таким образом, можно сделать первый вывод: в полевом эксперименте следует ожидать бóльших видимых размеров аномальных зон в данных инверсии и, соответственно, делать поправку в описании результатов и интерпретации.

После завершения моделирования условий, в которых карстовая зона ограничена только по оси Y , был выполнен расчёт моделей, где дополнительное ограничение вводилось также на протяжённость по оси Z . Это имеет смысл по той причине, что чем меньше объекты по всем осям, тем больше возможности у токовых линий «обтекать» искомый объект, таким образом «видимость» объекта на результатах инверсии значительно падает. Из предыдущего опыта моделирования известно, что ограничение объекта по оси Z может внести кратные изменения в зна-

чения УЭС, восстановленные по результатам инверсии. В этой связи был выполнен расчёт группы моделей, одна из которых приведена на рисунке 2.

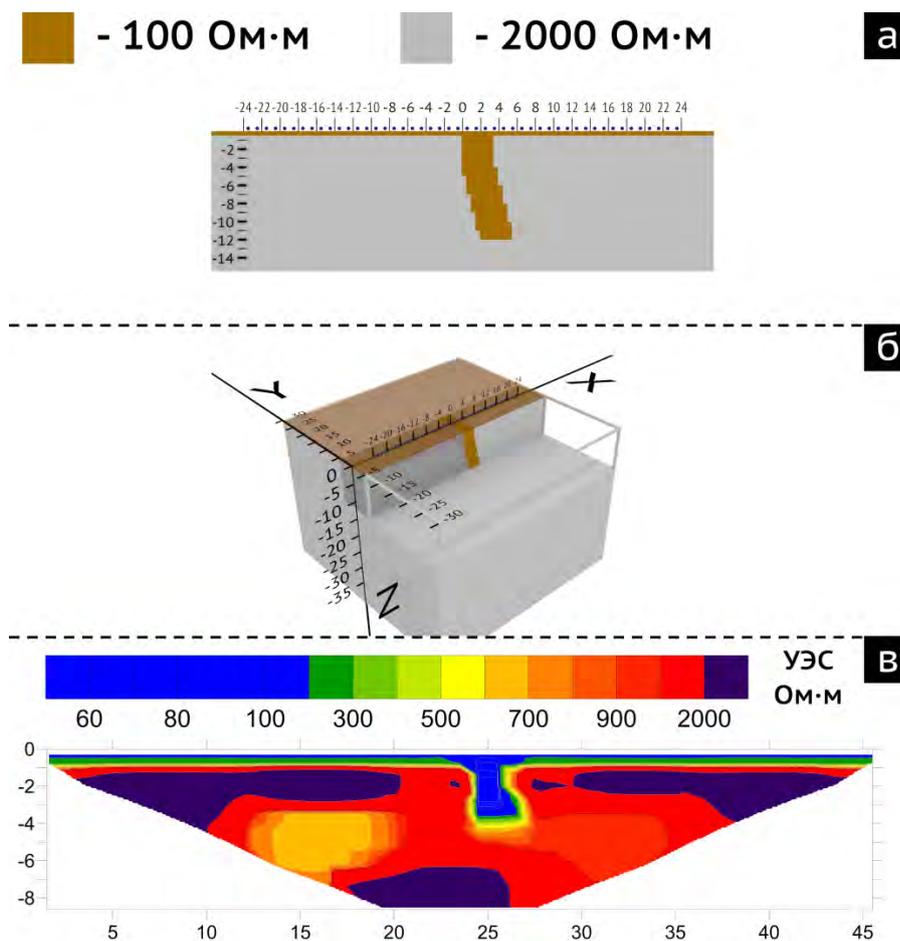


Рис.2. Схематическое изображение моделируемой среды и инверсии результатов моделирования; модель с ограниченной по осям Y и Z карстовой зоной (протяжённость зоны по оси Y составляет 10 метров, по оси Z – 12 метров, ширина карстовой зоны по оси X равна 3,5 метрам); (а) – фронтальная проекция, (б) – трёхмерное представление, (в) – результат инверсии.

Анализ результатов, полученных в результате инверсии данных прямого численного моделирования в группе моделей с ограниченной по оси Y и по оси Z карстовой зоной позволяет говорить о том, что заданная (12 м) протяжённость карстового нарушения по оси Z не оказывает существенного влияния на данные геофизического исследования. Логично предположить, что при меньшей протяжённости карстовой зоны по оси Z (особенно, если она меньше максимальной условной глубины исследования для данной конфигурации электроразведочной установки), влияние этого параметра будет значительным. Однако, поскольку из априорных данных известно, что карстовые зоны на изучаемом объекте имеют значительную (по сравнению с максимальной условной глубиной исследования) протяжённость, вариации параметров по оси Z детально не изучались.

Результаты моделирования позволили выбрать оптимальный шаг электроразведочной установки для надёжного исследования карстовых зон на изучаемом объекте – этот шаг составил 1 м.

После завершения этапа проектирования полевого эксперимента были проведены работы непосредственно на месте, их результаты представлены на рисунке 3.

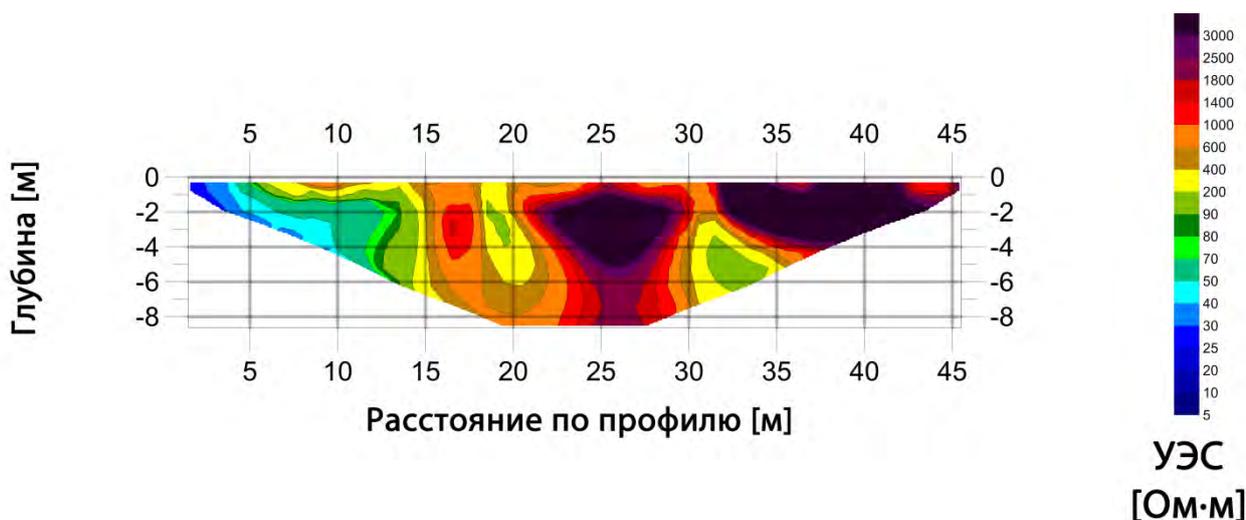


Рис.3. Геоэлектрический разрез, полученный в результате инверсии полевых данных. Хорошо видны зоны карстовых нарушений – жёлтые области на отметках 20 и 32 метра по профилю исследования.

Интерпретация результатов инверсии полевых данных позволяет уверенно выделить зоны карстовых нарушений – на геоэлектрическом разрезе они представлены жёлтыми, вытянутыми в вертикальной плоскости областями на отметках 20 и 32 метра по профилю исследования.

Вывод по результатам выполненной работы может быть сформулирован следующим образом: трёхмерное численное моделирование позволяет хорошо подобрать параметры электроразведочной установки для дальнейшего использования в полевых условиях. При этом модели, составленные на основе априорной информации, позволяют также определить, безопасно ли использование двумерной инверсии при обработке данных, полученных на объекте. Для карьера «Известковый» было показано, что, несмотря на относительно небольшие размеры карстовых зон (их «локальность»), правильный выбор шага электроразведочной линии способен устранить эту особенность и без опасений использовать программу двумерной инверсии для обработки результатов исследования.

Литература

1. Косинова. И.И. Литотипы пород полезной толщи Сокольско-Ситовского месторождения известняков (Липецкая область) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. - 2014. № 2
2. Иванов В.В. Рациональное использование минеральных ресурсов при открытой разработке сложно-структурных месторождений известняка // Концепт. – 2014. – № 06 (июнь). – ART 14156. – 0,3 п. л. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/14156.htm>. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [Электронный ресурс] // авторы: Суродина И. В., Фаге А. Н. Новосибирск, URL: http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2017660273&TypeFile=html (дата обращения: 20.03.2018).

УДК: 551.4

СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КРАЕВОЙ ЧАСТИ МАССИВА ЛЕДЯНОЙ ГОРЫ (НА ПРИМЕРЕ ГРОТА ВЫШКА)

Красиков А.В.

ПФИЦ УрО РАН, Кунгурская лаборатория-стационар, Кунгур, Россия; alexeykrasikov55@gmail.com

Аннотация: Структурное картирование в Кунгурской Ледяной пещере (КЛП) дает возможность реконструировать основные тектонические и экзогенные процессы, проявившиеся внутри массива. В настоящей статье приводятся результаты структурного картирования грота Вышка.

Ключевые слова: Карстовый массив, Кунгурская Ледяная пещера, структурные элементы, картирование.

STRUCTURAL ELEMENTS OF THE EDGE PART OF THE MASSIF OF THE ICE MOUNTAIN (ON THE EXAMPLE OF THE GROTTA VYSHKA)

Krasikov A. V.

Perm Federal Research Center of Ural Branch of RAS, Kungur laboratory, Kungur, Russia; alexeykrasikov55@gmail.com

Abstract: Structural mapping in the Kungur Ice Cave (KLP) makes it possible to reconstruct the main tectonic and exogenous processes that appeared inside the massif. This article presents the results of the structural mapping of the Vyshka Grotto.

Keywords. Karst massif, Kungur Ice cave, structural elements, mapping.

Введение. Массив Ледяной горы представляет собой платообразную закарстованную возвышенность, занимающую водораздельное пространство между реками Сылвой и Шаквой. Грот Вышка расположен в краевой части массива. По объемам является одной из самых крупных галерей КЛП. Как и большинство гротов пещеры, заложен в гипсах и ангидритах нижних и верхних слоев ледянопещерской пачки, а также в доломитах неволинской пачки. Длина грота 121 м, средняя ширина 28 м и высота 17 м, площадь 3370 м². Средняя мощность кровли 37 м, расстояние до р. Сылва 100 м. [3]

Методика работ. Для структурного картирования в пределах съемочного поля были использованы тахеометры Leica TCR800 и Sokkia CX 106. Полученные данные были обработаны и преобразованы в графический вид с помощью системы автоматического проектирования и черчения AutoCAD. В ходе работы был построен план грота Вышка со структурными элементами и обновленным контуром, площадью 2765 м² (рис.1).

Контур съемочного поля, в некоторых случаях не совпадает с планом грота Вышка, что говорит о необходимости дополнения плана, используемого сейчас в

качестве основного. [4]. Несовпадение планов хорошо видно в юго-западной части грота, а также в районе входа в грот Татищева (на плане 2001 года неверно нанесен вход в грот, смещение составляет порядка 8,2 м на запад). Максимальная амплитуда в гроте составила 24,15 м. Уменьшение площади грота, возможно связано с активизацией обвальных процессов в результате постройки выходного тоннеля в 1984-85 гг.

Всего же в гроте Вышка в период, начиная с 1930е гг. зафиксирован 21 обвал. Практически повсеместно кровля грота Вышка состоит из сетчатых гипсов (за исключением юго-западной осыпи, где в кровле выделены доломиты), которые являются очень неустойчивыми, сильно испещрены трещинами и легко вываливаются из кровли небольшими блоками, или же единичными кусками

Слоистость. Залегание слоев наклонное на восток как в сводовой части грота, так и в стенках, по периферии углы падения варьируют от 1-2 до 40°. Наибольшие значения выделяются в районах развития осыпей (блоковая отдельность), а так же в месте расположения «зеркала скольжения» (угол падения 60°). Кроме этого в южной части грота можно выделить ось синклинального перегиба. Азимут простираения оси составляет 75°, угол падения 20°, погружение оси происходит на ВВС.

Тектонические трещины широко представлены в нижних и средних слоях ледянопещерской пачки и неволинской распределяются по всей площади грота. Их видимая протяженность достигает до 30 метров. Они прослеживаются не только в сводовой части, но и на стенках грота формируя диагональную систему СВВ и ССЗ (60°-85° и 330°-5°), что совпадает с ранее полученными данными [2]. Так же можно выделить третью систему СЗЗ (285° – 310°) -которая раньше не выделялась (рис 2). В данном гроте большая часть трещин закрытые, с заполнителем, редко открытые с величиной открытия не более 5-7 см. Угол падения варьирует от 50° до 90°, но присутствуют и более пологие (до 40-45°). Трещин с вертикальным углом падения на порядок меньше чем пологих, и составляет порядка 30% от всех выделенных тектонических трещин.

Трещиноватость в нижних и средних слоях ледянопещерской пачки отличается от таковой в верхних слоях. В нижних и средних ангидритовых слоях, тектонические трещины чаще всего являются закрытыми, редко заполнены гипсом. В верхних слоях тектонические трещины прослеживаются реже, по большей степени, являются открытыми, практически все заполнены гипсом, Трещины в нижних слоях неволинской части четко выражены, дробят доломитовый прослой на хорошо выраженные блоки, а трещины меньшего порядка, которые в свою очередь дробят блоки на более мелкие отдельности, способствуя усилению неустойчивого положения кровли грота Вышка.

Зона гидратации распространена в центральной части грота, в районе западной стенки. Гидратационные «трещины» в этой зоне представляют собой трещины унаследованной природы от более ранних типов трещиноватости в гипсоангидритовых породах, стенки большинства из которых открыты на глубину от 2-3 до 10 см. Меньшая часть из них заполнена гипсом, но и присутствуют вторично раскрытые (до 5 см на глубину). Основная часть трещин имеют такую же систему азиму-

тов простирания, как в гротах Великан и Длинный [1]. Часто имеют угол падения, близкий к вертикальному

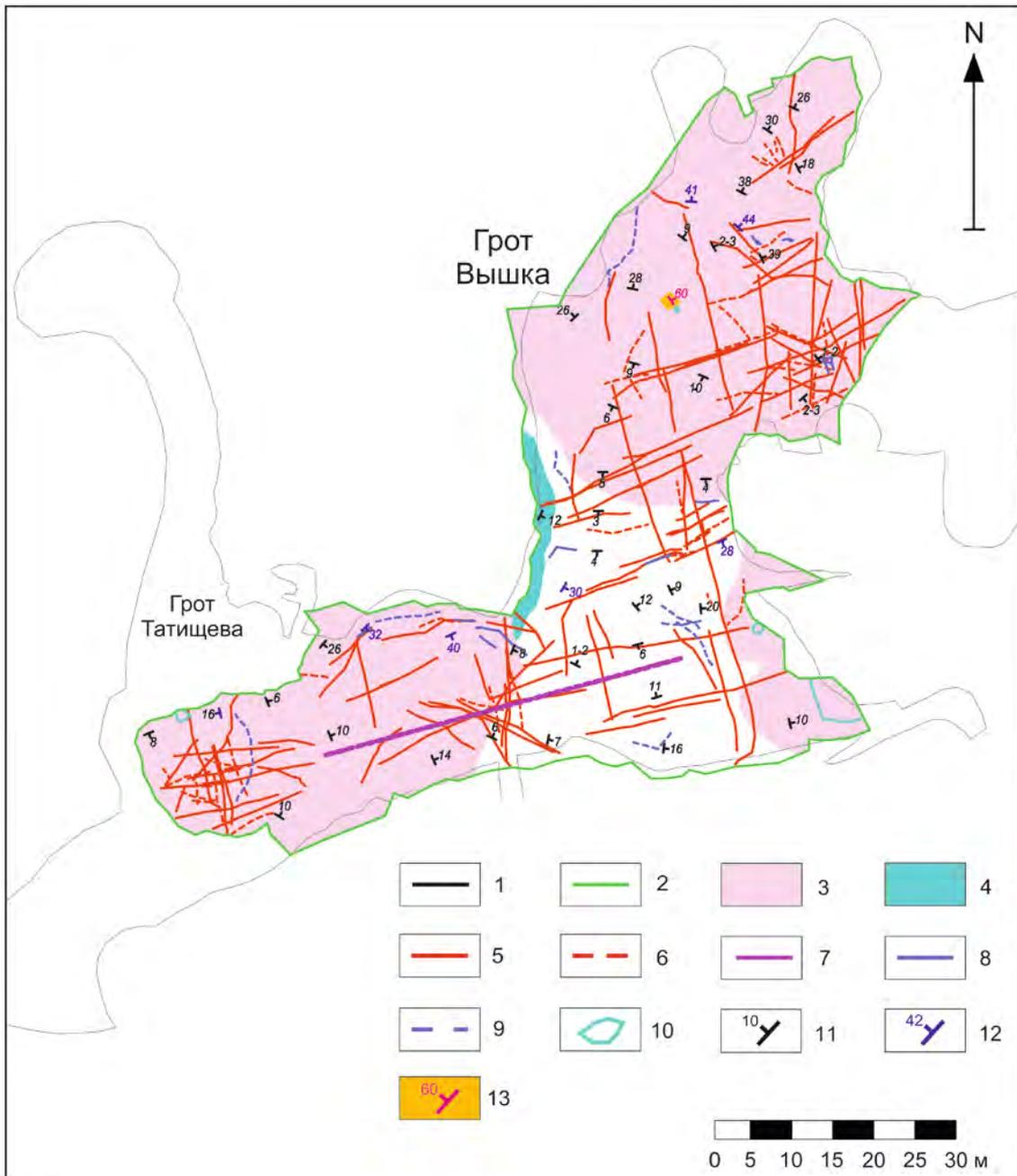


Рис. 1. План грота Вышка с выделенными элементами: 1 – контур грота (старый); 2 – контур съемочного поля; 3 – зона развития осыпей; 4 – зона развития гидратации; 5 – тектонические трещины; 6 – внутрипластовые трещины. 7 – ось флексуобразного перегиба; трещины отрыва с величиной открытия до 20 см – 8, более 20 см – 9; «органные трубы» - 10; 11- угол падения слоистости. 12 – угол падения в отслоившихся блоках 13 зона распространения зеркала скольжения и угол его падения.

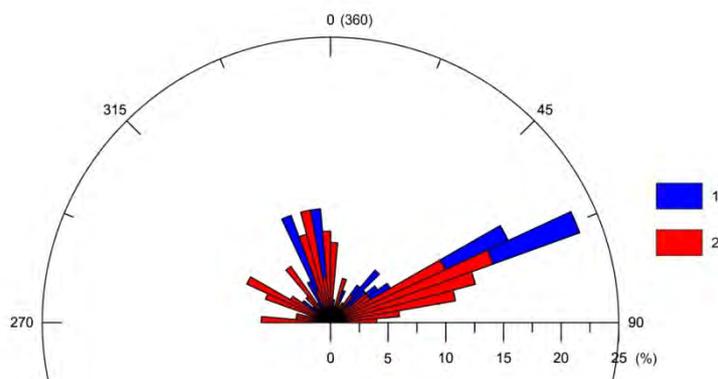


Рис 2. Сравнение роз-диаграмм азимутов простираения трещин: 1 – на протяжении всей КЛП (2016); 2 – грот Вышка.

Внутрипластовые трещины прослеживаются повсеместно по периметру сводовой части и в стенках грота. Их размеры составляют в среднем, до 10 метров. Большая часть внутрипластовых трещин пересекает тектонические под острыми углами в 45-60. Меньшая часть располагается параллельно к распространению основных тектонических трещин. Представлены единичными системами трещин, а так же четко выделенными системами (юго-западная и восточная части грота Вышка) По степени раскрытия преобладают трещины закрытые, замещенные гипсом, но и встречаются трещины с величиной открытия до 10 см, Углы падения внутриблоковых трещин варьируют от острых до субвертикальных.

Трещины отрыва выделенные в гроте, имеют разные углы наклона, которые варьируют от 5-10° до 30°, присутствуют как закрытые трещины, так и открытые величина раскрытия таких трещин до 50 см. По своей природе некоторые из них имеют сложную форму/

Органные трубы являются специфичным образованием КЛП. Они формируются инфильтрационными водами, а для их развития необходимы вертикальные проницаемые зоны. В данном гроте расположены 4 незаполненные органические трубы. Три из них находятся в стенках грота, одна в центральной части осыпи. Наиболее крупные из них располагаются в юго западной стене грота.

Зеркало скольжения выделено в верхней части осыпи, расположенной в северной части грота. Угол падения зеркала, площадью 1,75 м² составляет 60°, направление падения - СВ.

Выводы. При построении графического плана грота Вышка был составлен новый контур границ грота, а также обновлены границы распространения осыпей. Его изменение можно связать с увеличением активности обвальных процессов связанных с проходкой выходного тоннеля 1984-85 гг. Кроме того, после сооружения выходного тоннеля грот оказался в зоне влияния морозного выветривания (до 2011). Процессы выветривания ускорили процесс обвалообразования. Частично на качество результатов могла влиять точность обработки полученных результатов картирования.

Анализ распределения углов падения приводит к выводу, что в южной части грота происходит незначительный перегиб слоистости, что говорит нам о воз-

возможности существования здесь оси синклинальной складки. Тектонические и внутриблоковые трещины, выделенные на данном участке, секут ось синклинали под острыми углами, что может говорить об их, как и (право) сдвиговой природе. Тектонические трещины развитые повсеместно на всей площади грота формируют одну широтную и две ортогональные системы трещин.

«Гидратационные» и трещины часто имеют такие же простирания что и «тектонические», что говорит об их унаследованной природе развития от тектонических трещин и активизацию в процессе гидратации ангидритовой толщи.

Трещины отрыва сформировались в ходе гравитационных процессов происходящих в массиве, практически везде являются параллельными как тектоническим, так и внутрипластовым

Осыпи под органическими трубами, определяют морфологию гротов и изменения морфометрических показателей грота.

Зеркала скольжения не связаны с первичными тектоническими деформациями, что подразумевает под собой иные процессы их образования.

Литература

1. Красиков А. В. Структурные элементы грота Великан в Кунгурской Ледяной пещере // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. // Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. /Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2018. - Вып. 21. – С. 279-284.

2. Красиков А.В., Трапезников Д.Е., Кадебская О.И., Анализ и оценка устойчивости кровли в гротах Кунгурской Ледяной пещеры // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2016. - Вып. 15. –362-371 с.

3. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений. Под ред. В.Н. Дублянского. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. - 375 с.

4. Лавров И.А., Чугаева А.А. Электронный план Кунгурской Ледяной пещеры // Пещеры. Межвуз. сб. науч. тр./Перм. ун-т. / Пермь, 2001 – 73-76 с.

УДК 551.435.84

ОБВАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В ЛАНДШАФТЕ СПЕЛЕОСИСТЕМ

Лаврова Н.В.

Пермский федеральный исследовательский центр, филиал «Горный институт УрО РАН», Пермь, Россия; nlavrova08@mail.ru

Аннотация: *К образованию обвальных отложений ведут процессы гравитации, гидратации и т.д. Рассмотрены особенности крупноглыбовых отложений Кунгурской Ледяной пещеры, образованных на доспелеологической стадии развития карстовой системы.*

Ключевые слова: *обвальные крупноглыбовые отложения, Кунгурская Ледяная пещера, карстовая система, доспелеологическая стадия развития.*

COLLAPSE DEPOSITS IN THE LANDSCAPE OF SPELEOSYSTEM

Lavrova N.V.

*Perm federal research center Mining Institute, Urals branch of RAS, Perm, Russia;
nlavrova08@mail.ru*

Abstract: *Processes of gravitation, hydration, etc. lead to formation of collapse deposits. Features of the large-block deposits of the Kungur Ice cave formed at a pre-speleological stage of development of karst system are considered.*

Keywords: *landslide large-block deposits, Kungur Ice cave, karst system, pre-speleological stage of development.*

В многочисленных классификациях пещерных образований выделяются обвальные отложения, образующиеся при обрушении сводов карстовых полостей. Наряду с пелитовыми и псаммитовыми остаточными, данные отложения заполняют основную часть площадей в нижней части пещерных галерей. Как правило, состоят их крупных глыб, щебня без заполнителя. В особый тип выделяется глинисто-щебнистый материал, заполняющий органичные трубы и образующий конусы под их устьями. В этом случае в составе могут фиксироваться глыбы и щебень из перекрывающих карстующиеся породы отложений, и тогда выделяется подтип обвально-провальных отложений.

К инициированию обвалов ведут многие процессы, среди них гравитация, гидратация (в случае сульфатного карста), а также горные удары. Литологические, морфологические, морфометрические, минералогические характеристики обвальных отложений позволяют определять особенности развития спелеологической стадии карстовой системы. В Кунгурской Ледяной пещере выделяются обвальные отложения, сформированные, предположительно, до образования собственно карстовой полости.

Кунгурская Ледяная пещера – одна из крупнейших в Предуралье, длина ходов 5,7 км. Образована в нижней части сульфатной ледяно-пещерской пачки иренского горизонта кунгурского яруса, мощность которой 20-25 м. Над сульфатной ледяно-пещерской пачкой залегают доломиты, известняки и гипсы неволинской пачки, мощностью до 10 м [2]. В пещере насчитывается более ста заполненных и незаполненных органичных труб. В конических осыпях под отдельными трубами обнаруживаются крупные блоки карбонатных пород из перекрывающих отложений, размер которых не соизмерим с диаметром устьев трубы, что исключает обвал глыб в уже сформированном полом пространстве.

В Кунгурской пещере более 50 гротов, только в своде в четырех из них вскрываются карбонатные отложения, перекрывающие карстующиеся сульфатные породы. Средняя высота остальных гротов около 7 м. Однако, в осыпях в краевых частях гротов вне зависимости от их размерности фиксируются крупные блоки и мегаблоки карбонатных пород, поперечник которых составляет от 1 до 5 м.

Пространство между блоками может оставаться свободным или заполняться остаточными отложениями, либо более мелким раздробленным щебнем. Блоки

могут лежать отдельно, либо «запаяны» в сульфатные отложения. В гроте Морское Дно в центре свода на высоте до 3 м крупные до 0,3 м в поперечнике обломки карбонатных пород находятся в сульфатном матриксе. В этом случае контакты ровные четкие плотные без каких-либо видимых изменений по контуру прилегания. В гроте Лукина сульфатные породы обрамляют глыбы доломита до 3 м в поперечнике, которые сохраняют свободное пространство между собой, заполняя все неровности (рис. 1).



Рис.1. Глыбы доломита (темносерые) в гипсе в гроте Лукина (вид снизу).

У северной стены посередине грота Длинного непосредственно от свода располагается осыпь, диаметр которой составляет 15 м, где также отмечаются мегаблоки доломита. В верхней части осыпи нависающие прослойки сульфатных пород в результате гидратационных и гравитационных процессов меняют горизонтальное залегание на наклонное. В отдельных случаях упираются непосредственно в осыпь, имитируя целик (рис. 2). Так в Гроте Вышка лишь небольшие вывалы непосредственно из нижней части стен свидетельствуют о присутствии обломочных отложений за стенами грота без видимых следов нарушений. Однако при прохождении вдоль стен в нижней части следующего грота Лукина фиксируются карбонатные блоки, составляющие одну обвальную зону, невидимую со стороны грота Вышка.



Рис.2. Изменение горизонтального залегания сульфатных отложений на наклонное в верхней части осыпи в гроте Длинный.

Таким образом, присутствие крупных блоков из перекрывающих отложений в нижних слоях ледяно-пещерской пачки свидетельствует о формировании обваль-ных зон, захватывающих всю толщу пород – карстующихся сульфатных и некар-стующихся в данной ситуации перекрывающих карбонатных пород. Обвальные зоны могли сформироваться на допалеологической стадии развития карстовой системы.

Пещера изучается уже более 300 лет, в настоящее время история тектониче-ского развития территории в целом и участка спелеосистемы в частности изучена достаточно полно [1, 3-5]. Образование Кунгурской Ледяной пещеры свидетель-ствует о значительной роли дизъюнктивных нарушений в геологическом развитии района. Вертикальные и горизонтальные подвижки разного времени заложения привели к деформации горизонтально залегающих пермских отложений. Полости, образованные при разрывах пород, если оказываются в зоне выщелачивающего действия подземных вод, расширяются и становятся гротами и галереями пещеры. Карбонатные отложения, фрагменты которых обнаружены в нарушенной зоне, за-легают выше по разрезу. Деформации при тектонических движениях привели к захвату вышезалегающих карбонатных отложений.

Литература

1. Катаев В.Н. Структурно-тектонические условия формирования Кунгурской пещеры // Пещеры. Итоги исследований: Межвуз. сб. науч. тр./ Перм. ун-т. – Пермь, 1993. – С. 121-130.

2. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / Под ред. В.Н. Дублянского. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 376 с.
3. Рождественский А.П. Некоторые вопросы структурного и геоморфологического развития Урала в неотектонический этап // Материалы по геоморфологии Урала. Вып. 2. – М.: Недра, 1971. – С.41-50.
4. Чайковский И.И. Структурно-тектоническое положение Ледяной горы и Кунгурской Ледяной пещеры // Комплексное использование и охрана подземных пространств: Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2014. – С. 39-42.
5. Шимановский Л.А., Бачурин Э.Ф. Некоторые проявления тектоники в равнинной части Пермской области // Геология и петрография Западного Урала. Вып. 1. – Пермь, 1964. – С. 151-153.

УДК: 551.444.6:551.34

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПЕЩЕРНЫМИ ЛЬДАМИ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

Морозов О.Н.

Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования «Центр дополнительного образования детей и эвенкийских народных ремесел», с. Багдарин (Республика Бурятия), Россия; moleg61@mail.ru

Аннотация: *Приведены условия функционирования и динамики многолетних льдов в пещерах на площадях распространения многолетней мерзлоты Витимского плоскогорья. Даны рекомендации по поиску пещер.*

Ключевые слова: *пещера, лед, многолетняя мерзлота, Витимское плоскогорье.*

OBSERVATIONS ON CAVE ICES IN PERENNIAL PERMAFROZEN ROCKS OF VITIM PLATEAU

Morozov O.N.

Centre of Children's Complementary Education and Evenkis' Folk Crafts, Bagdarin, Buryatia, Russia; moleg61@mail.ru

Abstract: *Conditions of functioning and dynamics of cave perennial ices in the permafrozen terrains of the Vitim Plateau are described. The author developed recommendations on how to search for caves in such areas.*

Keywords: *cave, ice, perennial permafrost, Vitim Plateau.*

Практически все спелеологи сталкивались с оледенением в привходовых частях пещер. В отдельных случаях это вызывает затруднение для проникновения в полости, а в районах с наличием многолетней мерзлоты мощностью в сотни метров - практически запечатывает входы пещер [6]. Основные исследования по этой проблеме проводились в пещере Пломбир, находящейся в Республике Бурятия на

Витимском плоскогорье, обрамлении Мало-Амалатской впадины, центральной части Долгано-Имского карстующегося массива. Это визуальные наблюдения с единичными замерами температуры, эпизодические с 1984 г. по 1996 г. и периодические (от 1 до 5 раз в году) с 1996 г.

Пещера Пломбир найдена спелеологами Иркутского политехнического института [5, с. 41] в 1982 г. (рук. Осинцев А.В.). Представляла первоначально собой круто наклонный провал глубиной 10 м и шириной 2- 3 м. В результате нечастых наблюдений выяснилось, что сублимационный иней на дне провала наблюдается не каждую зиму. В 1997 г. провал почти полностью заполнился водой. После многочисленных неудачных попыток отчерпать воду, спелеоклуб «Альто-Ир» (г. Иркутск, рук. Левашов С.) выполнил эту задачу в 1999 г. Далее десяти метровую толщу льда за полгода проббили по маленькому водоотводящему каналу внутри тела наледи учащиеся геолого-спелеологического кружка «Долган» (с. Багдарин, рук. Морозов О.Н.) и вышли в обширную пустоту - грот «Колокол». В средней части и на дне последнего лед отсутствовал, а температура достигала + 1,0 °С. Из 40 м ходов, пройденных во льду – 10 м составляли в естественной пустоте – гроте Хрустальный. Спустившись на дно грота Колокол, мы обнаружили на стенах висящие многочисленные трупы летучих мышей. С тех пор каждую зиму учащиеся кружка «Долган» освобождали узость на дне входного провала от закупорившего его на 1-2 м льда. По узости в зимнее время проходила нулевая изотерма. Из-за этого ее постоянно затягивало. При большом количестве поверхностных осадков летом в воронку стекал небольшой ручеек. В 2007 г. в летне-осенний период выпало 433 мм осадков [7], что почти на 100 мм превышает среднегодовую норму осадков в данном регионе. Результатом этого явилось полное затопление входного провала (объем воды около 70 м³). Вода была отчерпана и вход открыт. То же самое повторилось в 2008-2010 гг. В 2011-2013 гг. вход был открыт. В ноябре 2013 г. мы увидели, что нулевая изотерма поднялась на 3 метра выше прежнего, а узость во льду на дне входного колодца размыва и под ней образовался колодец глубиной 5 м во льду. В 2013 г. количество летних осадков превысило более чем в полтора раза среднюю годовую норму за последние 13 лет [7] - 559 мм, причем только 21 июня выпало 90 мм осадков, что однозначно создало лавинообразный сток большого количества воды во входной провал пещ. Пломбир. Большая теплоемкость огромного количества водных масс сыграла роль «кипятильника» [3], который расширил отверстие во льду на дне воронки и там же сделал углубление 5 м, достигнув вмещающих пород на одной из стен. С расширением хода во льду, и более глубоким промерзанием в зимнее время, максимум отрицательной температурной аномалии (далее в тексте ОТА) [1; 3] переместился ниже на 5 м. Последующие два года колодец постепенно заполнялся льдом, в результате замерзания в нем воды. В 2015 г. этот колодец почти полностью перекрыло льдом, а в боковом основном ходе появился небольшой грот (2x1,5 м). В 2016 мы обнаружили, что сразу за новым гротом основной ход начал затягиваться льдом. В 2017 г. этот ход почти полностью затянуло льдом, а новый грот расширился из-за таяния льда до размеров 3x5 м. В 2018 г. размеры этого грота незначительно увеличились, а отверстие затягивающегося хода оставалось без изменения.

Существующий вход в пещ. Пломбир является нижним входом в трехходовую вертикальную Долганскую карстовую систему [3; 5, с. 40] и расположен на залесенном склоне восточной экспозиции, где над пещерой находится слой многолетнемерзлых пород. Вход максимально промораживается в зимнее время, не смотря на конвективный поток зимой теплого воздуха из пещеры. ОТА сформировалась в пещере, скорее всего, в древний период похолодания на дневной поверхности, создав наледь в районе сегодняшней нижней отметки льда. С увеличением этой висячей наледи постепенно перекрылся вход в пещеру, тогда же погибли летучие мыши, оказавшиеся в ловушке. С перекрытием входа и отсутствием теплового потока воздуха снизу, максимум ОТА перемещался вверх с увеличением в том же направлении мощности наледи, пока не остановился в критической точке на дне входного колодца. Причиной последнего стало значительное влияние температуры внешних вод и воздуха в летний период.

Надо заметить, что температура воздуха в центральной части наледи практически в любое время года близка к 0°C, и даже пребывание здесь одного человека более 5 минут в любое время года, нарушало хрупкое равновесие и лед в верхней части начинал таять. От грота Хрустальный и далее вверх к выходу пол ледяного хода (максимум ОТА) значительное время (а иногда и все лето) сохранял отрицательную температуру. В течение всего летнего периода в формировании наледи пола кроме поверхностных вод принимали участие: капель, связанная с таянием кристаллов льда, и куски отваливающихся со стен и потолка кристаллов, частично «оплавившиеся» при таянии. То есть генезис наледи на полу - гетерогенный. Затягивание хода в верхней части и с боков происходило по причине неполного стаивания в летний период сублимационных льдов, с последующим наращиванием на эту основу новых кристаллов льда зимой.

Пещера Дельфин находится на гребне горы склона южной экспозиции [5, с. 40]. Это самый верхний вход в Долганскую карстовую систему. Не смотря на то, что нет визуального соединения с пещ. Долганская Яма, имеется приток воздуха и тепла с нижележащих горизонтов. Воздух в полости движется по классической схеме для многоходовых пещер. [2] В 1982 г, когда пещеру показал иркутским спелеологам местный житель Зеленов С. В., глубина полости составляла 18 м. На дне был ровный ледяной пол. Ежегодно летом дно пещеры заполнялось водой на 3-5 м по высоте, которая в осенне-зимний период уходила в отверстие диаметром до 10 см в южной части этой естественной пустоты. После ухода воды отверстие во льду довольно быстро затягивалось. Неоднократные робкие попытки расширить его результатов не дали. [4, с. 106-107]. В 1993 г. спелеологи клуба «Арабика» (г. Иркутск, рук. А.В. Осинцев) пробили ледяную пробку и вышли в ходы с положительной температурой воздуха - +1,0°C. Мощность висячей наледи на тот момент составляла около 6 м. С этого времени наледь начала постепенно таять и в ноябре 2015 г. полностью исчезла. Средняя скорость таяния льда составила около 0,3 м в год. Почти ежегодно зимой узкий вход в пещеру затягивается сублимационными кристаллами льда, которые летом растаивают. Ранней весной «обрастание» льдом стен доходит до глубины 15 м. Мы видим в настоящий момент, что

инфильтрационные воды, проникающие в малом количестве летом в пустоты (во время оттайки верхнего слоя), уходят вдоль стенок вглубь.

Причиной формирования льда в пещ. Дельфин могли быть либо очень холодные внешние условия в более древние времена, либо тампонирование воздушных потоков в определенный период глиной, находящейся в изобилии на дне пещеры. В последнем случае пещ. Дельфин превращалась в классический «холодный мешок». Мы видим, что возникшая ранее ОТА, находилась в хрупком равновесии, которое нарушили спелеологи.

Вход в пещеру Долганская Яма гипсометрически находится выше пещ. Дельфин и ниже Пломбира [5, с. 40]. В полости наблюдается классическое движение воздуха для многовходовых пещер [2]. Из привходового гр. Сказка есть два входа – горизонтальный узкий лаз Первые Радости и восходящий П-образный в продольном разрезе широкий ход – Стена Аннапурна. Нижний вход (лаз Первые Радости) неоднократно полностью затапливался водой, которая поздней осенью замерзала. Верхний вход (Стена Аннапурна) за период с 1976 г. по настоящее время ни разу не затягивался льдом. Более того, мощность сублимационных образований льда зимой на стене этого лаза обычно не превышает 20 см. В разные зимы зафиксировано колебание нулевой изотермы в пределах 30 см на высоте около 1,5 м над полом грота Сказка. Максимальные размеры сублимационных кристаллов льда находятся чуть выше границы изотермы. Вверх по Стене Аннапурна от нулевой изотермы их размеры постепенно уменьшаются и уже на высоте 7 м, недалеко от перегиба на спуск в грот Четырех, стены свободны ото льда. Летом весь лед тает, не смотря на отрицательную среднегодовую температуру равную -5,5 (за период с 2005 по 2018 гг.) [7]. Над пещерными ходами находящимися под склоном южной экспозиции и гребнем горы мерзлота сезонная. Полное ее оттаивание происходит в конце июля-середине августа. В это время в пещерные ходы поступает большое количество воды и затапливается лаз Отпущение Грехов.

Пещера Коммунальщикова также приурочена к Долгано-Имскому карстующемуся массиву к его северо-восточной части. Вход представлял собой трещину шириной около 20 см на дне небольшой карстовой воронки. После расчистки рыхлых отложений на дне провальной воронки в 2016 г. появилась возможность проникнуть в пещеру через узкий лаз. Входной провал находится на безлесном открытом склоне северной экспозиции. Летом наблюдается ощутимая тяга из пещеры, зимой – в пещеру, то есть это нижний вход многовходовой пещерной системы. В отдельных частях пещеры воздух проникает через трещины, выходящие на поверхность. В привходовой части наблюдается незначительное обледенение, зимует колония летучих мышей численностью не менее 150 зверьков. Наличие зимующих летучих мышей говорит о том, что щель в полость была открыта довольно давно. Не смотря на то, что эта пустота имеет характеристики схожие с Пломбиром, мы видим совсем противоположную картину. Отсутствие оледенения во входной части объясняется, скорее всего, наличием под каменным завалом dna грота Белый Хаос большого водоема, поставляющего огромную массу тепла вверх. В подтверждении этого мы имеем в 500 м северо-западнее пещеры кругло-

годовой карстовый источник с незначительным дебетом на р. Има, который летом теряется в русле р. Има, а зимой образует наледь размером около 200х200 м.

Таким образом, можно сделать следующие выводы, подтверждающие ранние исследования [1; 2; 3]:

1. На развитие и динамику ОТА в и возникновению льдов в пещерах влияют:
 - микроклимат пещеры (пещ. Дельфин)
 - климат дневной поверхности
 - наличие многолетней мерзлоты
 - морфология ходов
 - наличие крупных водных потоков или большой массы воды в пещерах
2. В полях развития многолетнемерзлых пород на Витимском плоскогорье максимальное раскрытие обледенелых на входе пещер осуществляется в конце августа-сентябре.
3. Наиболее перспективными для уничтожения существующих ледяных пробок на входе в пещеры будут годы, когда количество летних осадков в 1,5 и более раз выше среднегодовой нормы.

Литература

1. Мавлюдов Б.Р. Климатические системы пещер // Вопросы физической спелеологии. Межведомственный сборник. – М., 1994. – С. 25-50.
2. Мавлюдов Б.Р. Оледенение пещер. – М: Институт географии РАН, 2008. - 290 с.
3. Мавлюдов Б.Р. В.С. Лукин и эволюция представлений о климате пещер // Комплексное использование и охрана подземных пространств: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию юбилею науч. и туристско-экскурсионной деятельности в Кунгурской Ледяной пещере и 100-летию со дня рожд. В.С. Лукина. – Пермь: Геологический институт УрО РАН, 2014. - С. 248-253
4. Морозов О.Н. Пещеры Витимского плоскогорья (Мало-Амалатская впадина). Дис... канд. геогр. наук. - Улан-Удэ, 2007. – 146 с.
5. Морозов О.Н., Скрипин Е.Н., Ботвинкин А.Д., Зайцев С.А. Пещера Пломбир // Свет: Междунар. спелеологический журнал СНГ. - 2002. - № 1-2 (22-23). – С. 38-41.
6. Экспедиция на плато Золотое // Арабиканские хроники. Вестник клуба спелеологов "Арабика". 1996.- № 1. - С. 6-7.
7. Архив погоды в Багдарине / rp5.ru Расписание погоды. Режим доступа: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Багдарине

УДК 551.442

ВТОРИЧНЫЕ КАРБОНАТЫ ПЕЩЕРЫ ХОЛОДНАЯ (ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Базарова Е.П.

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия; bazarova@crust.irk.ru

Аннотация: Приводятся данные о вторичных карбонатных образованиях пещеры Холодная в Западном Прибайкалье. Образования сложены кальцитом, моногидрокарбонатом и икаитом.

Ключевые слова: криогенные образования, моногидрокарбонат, икаит.

SECONDARY CARBONATES CAVE CHOLODNAYA (WESTERN PRIBAIKALIE)

Bazarova E.P.

Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, Russia; bazarova@crust.irk.ru

Abstract: This abstract presents information about secondary carbonate formations of the Chlodnaya cave in the Western Baikal region. The formations are composed of calcite, monohydrocalcite and ikaite.

Key words: cryogenic formations, monohydrocalcite, ikaite.

Пещера Холодная является примером пещер с сезонным оледенением, широко распространенных в Западном Прибайкалье. В зимний период в этом районе сезонные льды развиваются в привходовой части пещер, а вследствие сильного промерзания горных пород сохраняются еще некоторое время при потеплении.

Холодная расположена на юго-восточном залесенном склоне Приморского хребта в Западном Прибайкалье и заложена в породах улунтуйской свиты верхнего протерозоя, представленной онколитовыми и строматолитовыми битуминозными известняками и доломитами. Химический состав вмещающих пород данной пещеры сходен с составом вмещающих пород п. Хрустальная [1], расположенной в том же районе.

В данной работе описываются вторичные минеральные образования п. Холодная, представленные хемогенными и криогенными образованиями.

Определение минерального состава проводилось в Институте земной коры СО РАН в г. Иркутске методом термического анализа Н.В. Нартовой. Исследование морфологии и химического состава криогенных образований проводилось на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 LMN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350/X-max 20 в Горном институте УрО РАН в г. Пермь аналитиком О.В. Коротченковой.

Пещера имеет аркообразный вход, за которым расположен небольшой зал. Зал переходит в узкий ход высотой до 10 м при средней ширине 0.6 м. Пещера представляет собой русло древней реки, на что указывает морфология хода и окатанная галька на полу.

Хемогенные образования в п. Холодной представлены небольшими (до 1 см) кораллитами, сложенными кальцитом и моногидрокальцитом, геликтитами в местах повышенного движения воздуха, и маломощными натечными корами (рис. 1).



Рис.1. Хемогенные образования в п. Холодной: сталактиты и кораллиты.

Ледяные образования в зимнее время широко распространены в привходовой части пещеры (рис. 2) и представлены сталагмитами и небольшой наледью в месте наиболее интенсивного капежа.

В летнее время на месте наледи остается криогенный остаток, представленный влажным порошком белого цвета. По данным термического анализа, криогенные образования сложены икаитом.



Рис.2. Наледь и ледяные сталагмиты в привходовой части пещеры.

На электронном сканирующем микроскопе был исследован образец криогенной муки. Икаит слагает агрегаты-корочки, верхняя часть которых обрастает кристаллами, а нижняя остается гладкой, что указывает на рост криогенных образований в тонком слое раствора на ледяной подложке (рис. 3 а).

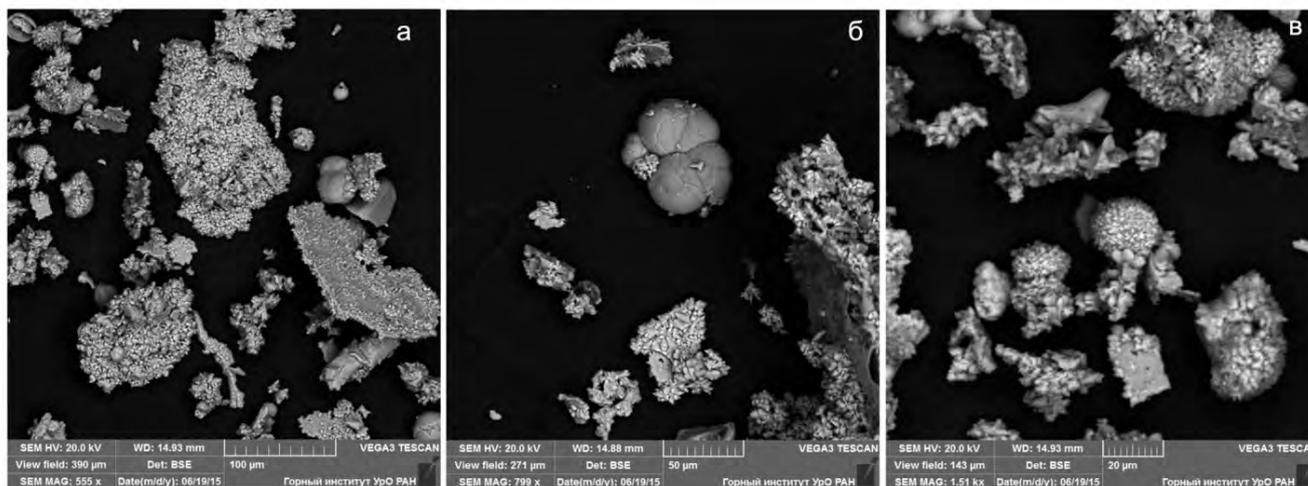


Рис.3. Криогенные образования: агрегаты-корочки (а), агрегаты типа кораллитов (б) и сферолиты, покрытые мелкими кристаллами (в).

Среди корочек встречаются отдельные сферолиты и агрегаты типа кораллитов (рис. 3 б). В отдельных случаях сферолиты имеют ежеподобный облик вследствие обрастания их поверхности мелкими кристаллами (рис. 3 в). Формирование сферолитов, по-видимому, происходило в углублениях, заполненных водой, на поверхности наледи.

Таким образом, вторичные минералы п. Холодной представлены карбонатом и водными карбонатами кальция: кальцитом и моногидрокарбонатом, которые входят в состав хемогенных образований, и икаитом, который слагает криогенные образования. По классификации, предложенной К. Заком [2], криогенные образования п. Холодной относятся к тонкозернистым криогенным карбонатам.

Автор благодарит спелеологов клуба «Арабика» и лично А.В. Осинцева за предоставленные фотографии и помощь в сборе образцов, а также аналитиков Н.В. Нартову и О.В. Коротченкову за проделанные анализы.

Литература

1. Базарова Е.П., Кадебская О.И., Кононов А.М., Ущাপовская З.Ф. Условия и особенности криогенного минералообразования в пещерах южной части складчатого обрамления Сибирской платформы (Западное Прибайкалье и Восточный Саян)//Вестник Пермского университета. Геология. – 2016. – Вып. 2 (31). – С. 22 – 34.
2. Zak K., Onac B., Persoiu A. Cryogenic carbonates in cave environments: A review//Quaternary International. – 2008. – Vol. 187. – Issue 1. – P. 84 – 96.

УДК: 551.44

УСЛОВИЯ ЗАЛОЖЕНИЯ И МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЫ (АБХАЗИЯ)

Червяцова О.Я.¹, Потанов С.С.², Дбар Р.С.³

¹ФГБУ «Государственный заповедник «Шульган-Таш», Башкортостан;
kittary@yandex.ru

²Институт минералогии, УрО РАН, г. Миасс; s_almazov@74.ru

³Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум; romandbar@mail.ru

Аннотация: Приводятся данные о геологических особенностях заложения Новоафонской пещеры и её морфогенетических особенностях с позиции гипогенного спелеогенеза.

Ключевые слова: гипогенный спелеогенез, Новоафонская пещера.

CONDITIONS OF EMBEDMENT AND MORPHOGENETIC FEATURES OF NOVOAFONSKAYA CAVE (ABKHAZIA)

Chervyatsova O.Y.¹, Potapov S.S.², Dbar R.S.³

¹Shulgan-Tash State Reserve, Bashkortostan; kittary@yandex.ru

²Institute of Mineralogy, Ural Branch of RAS, Miass; s_almazov@74.ru

³Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum; romandbar@mail.ru

Abstract: The paper presents data on the geological features of the Novoafonskaya cave and its morphogenetic features from the position of hypogene speleogenesis are given.

Keywords: hypogenic speleogenesis, Novoafonskaya cave.

По опубликованным данным, Новоафонская пещера заложена в известняках барремского возраста [7]. Особенностью нижнемеловых отложений в данном районе является сложность фациальных переходов и латеральная изменчивость ввиду разнообразия обстановок осадконакопления [1-3, 6, 10, 11]. По данным [12], в районе исследований осадконакопление в барреме происходило в условиях мелководного тёплого моря.

Было установлено, что полости пещеры заложены в известняках как минимум трёх различных литологических типов. В верхней части разреза (залы Анакопия и Махаджиров) находятся толстослоистые окремнённые водорослевые известняки с большим количеством конкреций кремня (вплоть до сплошных конкреционных прослоев), с включениями пирита и фторкарбонатапатита, мергелистыми прослойками.

Ниже в разрезе расположена пачка микрозернистых толстослоистых, иногда тектонически брекчированных, известняков с множественными стилолитовыми швами. Это известняки механогенного происхождения, сложенные карбонатными

зёрнами с различной степенью окатанности, в значительной мере принадлежащими к алевритовой размерности (кальцисилиты или известняковые алевролиты по [8]). В известняках присутствуют зёрна ортоклаза. В этой пачке встречаются включения блоков неправильной формы с размерами от одного до первых десятков метров, представленных биодетритовыми ракушечными известняками, предположительно относящимися к оползневым телам (олистолитам).

В нижней части разреза (зал Апсны) найдены кальцисилиты с большим количеством фораминифер, наличие среди которых *Mjatliukajena ex gr. gaultina* и *Recurvoides sinuosus* (определения М.А. Алексеева, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского) дают возможность обосновать готеривский возраст этих пород. По аналогии с описанными в литературе для центральной части Абхазии разрезами, толща вышележащего известняка с олистолитами относится к нижнему баррему.

Наибольшие содержания SiO_2 и Al_2O_3 (13,7 до 17,9 % масс.) наблюдается в водорослевых известняках, вмещающих южные залы. Для ниже лежащих кальцисилитов содержание SiO_2 и Al_2O_3 около 1 % масс. Примесь магнезия 0,3-0,6 % масс. присутствует во всех литотипах пород.

Изотопный состав кислорода и углерода вмещающих известняков находится в пределах $\delta^{18}\text{O}$ -9,0... -5,82 и $\delta^{13}\text{C}$ +1,16...+2,27, что соответствует данным для эталонных французских разрезов баррема-апта [16].

В кавернах и трещинах, вскрытых пещерой, были обнаружены щётки и друзы жильного кальцита с кристаллами размером от 0,5 до 10 см в длину. Такие жилы были изучены в карстовых массивах Крыма и обоснованы в качестве индикатора ранней гидротермокарстовой проработки [4]. Для этого кальцита наблюдается тяжёлый изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$ -1,28...-2,0) что согласуется с моделью об участии гипогенных флюидов в его образовании.

Проведен морфогенетический анализ полостей пещеры. Были выявлены основные морфологические элементы, индикативные для гипогенного спелеогенеза с участием субаэральной серноокислотной коррозии за счёт окисления H_2S [5, 13, 14] – карманы замещения (*replacement pockets*), гипсовые коры замещения (*replacement gypsum crusts*), "коррозионные столы (платформы)" (*corrosion tables*), конденсационные своды (*condensation domes*), "огромные фасетки" (*megascallops*), конденсационно-коррозионные каналы (*condensation-corrosion channels*), потолочные купола (*ceiling cupolas*), фидеры (*feeders*). Установлено, что ключевую роль в генезисе пещеры играла система раскрытых субвертикальных диагональных трещин (СВ 33°–55°), которые представляли собой фидеры (рифтовые фидеры по терминологии [5]), выведившие гипогенные воды в массив (рис. 1).

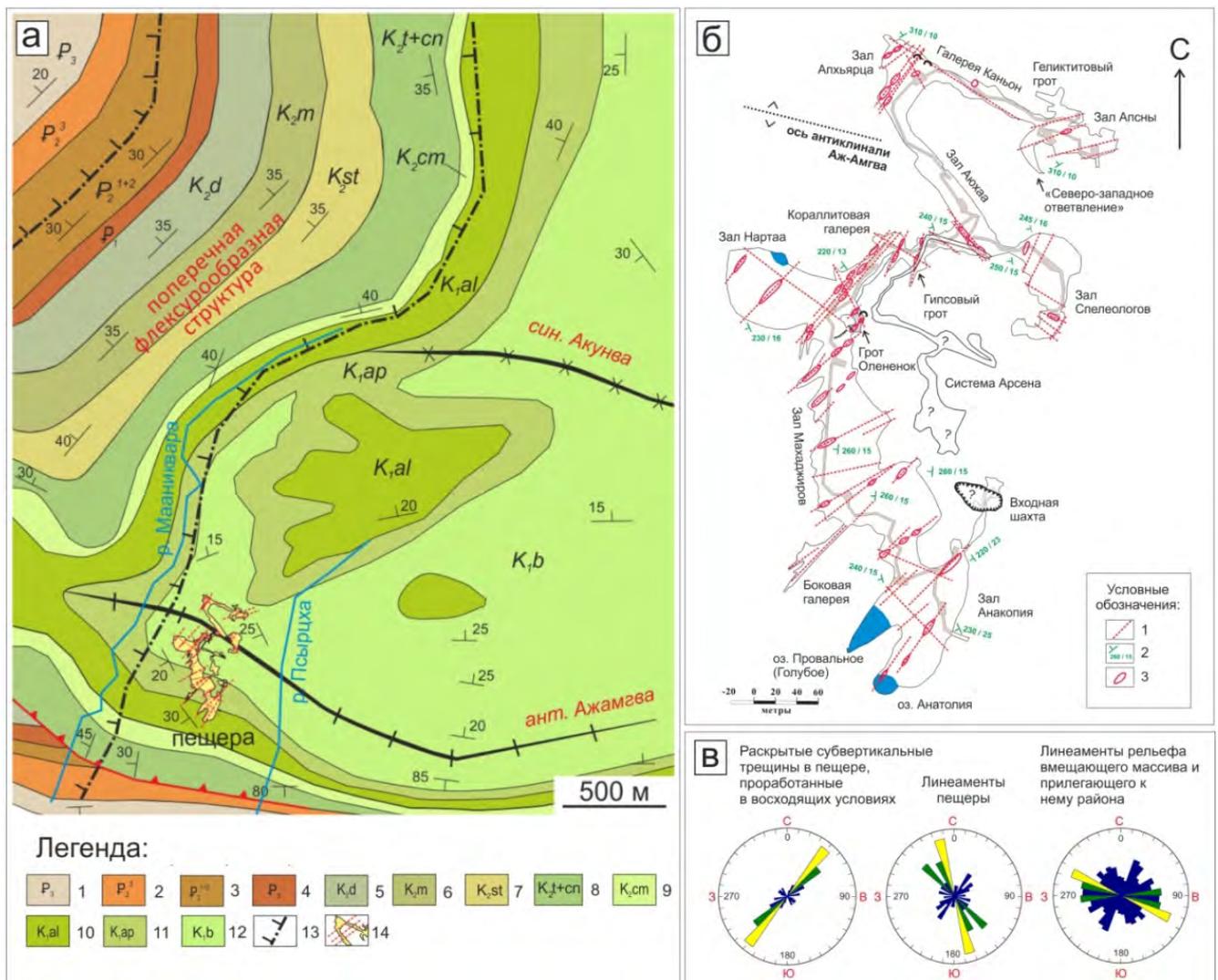


Рис.1. а) Геологическая карта района пещеры масштаба 1: 50 000 (по Букия и др., 1971) с дополнениями авторов (оси складок, контур пещеры и тектонические трещины, элементы залегания в юго-западной части, выделение флексуорообразной структуры).

Легенда: 1. Оligocen. Хадумский горизонт и майкопская свиты. Битуминозные глины и песчаники; 2. Верхний эоцен. Битуминозные плитняковые мергели и фораминиферовые мергели; 3. Нижний и средний эоцен. Брекчиевидные известняки, мергелистые известняки и мергели; 4. Палеоцен. Известняки и мергелистые известняки; 5. Датский ярус. Брекчиевидные известняки и мергелистые известняки; 6. Маастрихтский ярус. Толстослоистые известняки и мергелистые известняки; 7. Сантонский и кампанский ярусы. Среднеслоистые известняки и мергелистые известняки; 8. Туронский и коньякский ярус. Светло-серые и красноватые известняки; 9. Сеноманский ярус. Глины и песчаники; 10. Альбский ярус. Глины, мергели, мергелистые глины и песчаники; 11. Аптский ярус. Мергели и мергелистые известняки; 12. Барремский ярус. Известняки и доломитизированные известняки; 13. Границы поперечной флексуорообразной структуры; 14. Полости пещеры и закартированные тектонические трещины. б) Тектонические нарушения, контролирующее заложение полостей пещеры. **Условные обозначения:** 1) Субвертикальные раскрытые трещины; 2) Элементы залегания пород; 3) Каминьы, серии куполов и кластеры изолированных камер, выработанные в восходящем режиме; в) Роза-диаграммы простирания структурных элементов.

По этим трещинам сформирован комплекс морфоскульптурных форм, характерных для восходящей проработки (рис. 2а-г). Распространены серии камер-

ниш, экспонированных на стенах залов и галерей и, очевидно, представляющих собой реликты полостей более ранней стадии (рис. 2е, ж). Их автономное зарождение по соседним трещинам, независимое расширение и дальнейшее объединение (коалесценция) так же характерны для условий гипогенного карста [5, 15]. Для этих камер характерен субгоризонтальный пол ("коррозионный стол" по [14]) с сохранившимися аппаратами питания (фидерами) и куполообразный свод.

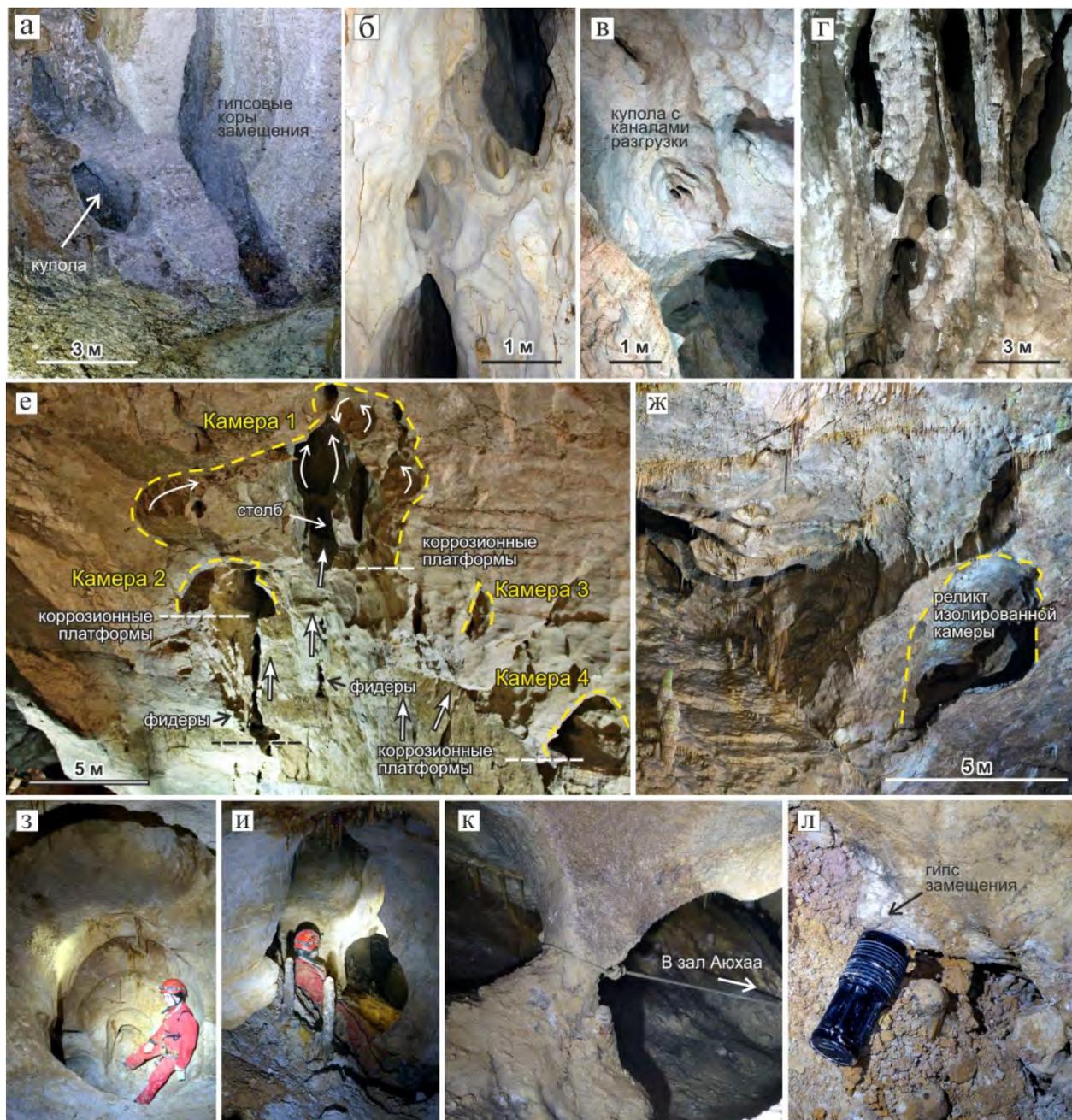


Рис. 2. Морфологические элементы пещеры, связанные со стадией гипогенного спелеогенеза.

Такая форма типична для полостей, сформированных в условиях модификации по зеркалу гипогенных вод. Интересные особенности имеют полости системы Арсена, ближняя часть которой развита на абсолютных высотах

130-150 метров н.у.м, над Кораллитовой галереей. Они представляют собой комплекс формировавшихся автономно изометричных камер (рис. 2з-к), с хорошо выраженными фидерами в днищах, стены которых замещены гипсом (рис. 2л). Результаты проведенного исследования согласуются с ранее сделанными предположениями о значительной роли гипогенного карста в генезисе пещеры [9, 15].

Авторы благодарны Ю.В. Дублянскому за выполнение изотопных анализов и консультации по гипогенному карсту, А.Б. Климчуку за консультации и поддержку, а так же М.А. Алексееву за палеонтологический анализ пород. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проекту № 17-55-40005 Абх а на тему: «Проявления сернокислотного спелеогенеза в Абхазии: морфологические, минералогические и изотопно-геохимические аспекты».

Литература

1. Букия С.Г., Колосовская О.В., Абаелик Е.М. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Абхазской АССР (м-б 1:50 000). Объяснительная записка. М., 1971. - 337 с.
2. Гамкредидзе П.Д. (ред.) Геология СССР. Том 10. Часть 1. Грузинская ССР. Геологическое описание. Недр, Москва, 1964. - 656 с.
3. Друщиц В.В., Соколов Б.А., Балуховский А.И. К стратиграфии нижнемеловых отложений Центральной Абхазии // Геология Центрального и Западного Кавказа. Труды Кавказской экспедиции ВАГТ и МГУ за 1959-1960 годы. М., 1962. - С. 111-120.
4. Дублянский Ю.В. Закономерности формирования и моделирование гидротермокарста. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. - 151 с.
5. Климчук А. Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. - 180 с.
6. Курочкин В.И., Астахов Н.Е., Чихелидзе С.С. Сорокина М.Д. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия кавказская. Лист К-37-ХI. Объяснительная записка // Го. науч.-тех. издательство по геологии и охране недр, Москва, 1959. - 75 с.
7. Тинтилозов З.К. Новоафонская пещерная система. Мецниереба, 1983. - 151 с.
8. Хабаков А. В. (ред.). Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Часть 2. Карбонатные породы. «Недра», 1968. - 700 с.
9. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Садыков С.А., Леонова Л.В., Дбар Р.С. Распространение, морфология, изотопный состав серы и генезис гипсовых отложений в Новоафонской пещере (Абхазия) // Минералогия. 2016. - № 3. - С. 79-94.
10. Эристави М.С. Грузинская глыба в нижнемеловое время. Труды Геол. ин-та АН Груз. ССР, геол. Серия. Т. 6. 1952.
11. Эристави М.С. Подразделение нижнего мела Альпийской зоны // Издательство Академии наук Грузинской ССР. Тбилиси, 1962. - 112 с.
12. Ясаманов Н.А. Ландшафтно-климатические условия юры, мела и палеогена Юга СССР. М., «Недра», 1978. - 224 с.
13. Audra P., Hoblea F., Bigot J.-Y., Nobécourt J.-C. The role of condensation corrosion in thermal speleogenesis. Study of a hypogenic sulfidic cave in Aixles-Bains, France // Acta Carsologica. - 2007. - 36/2. - P. 185-194.
14. De Waele J., Audra Ph., Madonia G., Vattano M., Plan L., D'Angeli I.M., Bigot J.-Y., Nobécourt J.C. Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: Examples from southern France, Austria, and Sicily // Geomorphology. - 2015. - № 253. - P. 452-467.
15. Dublyansky Y.V. Karstification by geothermal waters. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, 2013. - Vol. 6. Karst Geomorphology. - P. 57-71.

16. Léonide, P., Fournier, F., Reijmer, J. J., Vonhof, H., Borgomano, J., Dijk, J., Rosenthal M., Goethem M., Cochard J., Meulenaars, K. Diagenetic patterns and pore space distribution along a platform to outer-shelf transect (Urgonian limestone, Barremian–Aptian, SE France) // *Sedimentary Geology*. - 2014. - Т. 306. - С. 1-23.

УДК: 549.01:549.76:551.44

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ ГИПОГЕННОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЫ (АБХАЗИЯ)

Червяцова О.Я.¹, Потанов С.С.², Паршина Н.В.², Дбар Р.С.³

¹ФГБУ «Государственный заповедник «Шульган-Таш», Башкортостан; *kittary@yandex.ru* ²Институт минералогии, УрО РАН, г. Миасс; *salmazov@74.ru*

³Институт экологии академии наук Абхазии, г. Сухум; *romandbar@mail.ru*

Аннотация: Приводятся данные о вторичных минеральных отложениях в Новоафонской пещере, образованных в условиях сернокислотного замещения пород и гидролиза глин.

Ключевые слова: гипогенный спелеогенез, ярозит, алуниит, кварц.

MINERAL PARAGENESIS OF THE HYPOGENIC STAGE OF THE SPOLEOGENESIS OF THE NOVAFONSKAYA CAVE (ABKHAZIA)

Chervyatsova O.Y.¹, Potapov S.S.², Parshina N.V.², Dbar R.S.³

¹*Shulgan-Tash State Reserve, Bashkortostan; kittary@yandex.ru*

²*Institute of Mineralogy, Ural Branch of RAS, Miass; salmazov@74.ru*

³*Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum; romandbar@mail.ru*

Abstract: The paper presents data on secondary mineral deposits in the Novafonskaya cave formed under conditions of sulfuric acid replacing of rocks and hydrolysis of clays.

Keywords: hypogenic speleogenesis, jarosite, alunite, quartz.

Факты в пользу существования в Новоафонской пещере стадии гипогенного спелеогенеза при участии сернокислотного растворения пород в процессе окисления H_2S из вод глубинной циркуляции (*Sulfuric acid speleogenesis: SAS*) рассмотрены в предыдущих работах авторов [2, 3].

Основным продуктом сернокислотного замещения карбонатных пород в SAS-пещерах является специфический белый микрокристаллический гипс ("спелеогенный гипс" или "SAS-гипс") [2, 3, 6, 8]. В южных залах (Анакопия и Махаджиров) такой гипс сохранился внутри "карманов замещения" (*replacement pocket*): типичных для SAS-пещер [5] коррозионных форм в виде изометрично-вогнутых углублений (рис. 1а,б). На восточной стене зала Махаджиров выявлен

случай замещения по древней кальцитовой коре (рис. 1 в). Гипс замещения часто цементирует между собой обвальные глыбы (рис. 1 г, д). Для южных залов характерны площадные коры замещения, мощность которых достигает 10-15 см. Они сложены пойкилитовыми кристаллами гипса в массе ультрадисперсной кварцевой "муки", представляющей собой продукт разрушения кремнённых известняков. Часто в корях в "плавающем" состоянии находятся нерастворимые компоненты пород: конкреции кремня, остатки фауны и т.д. (рис. 1е, к).

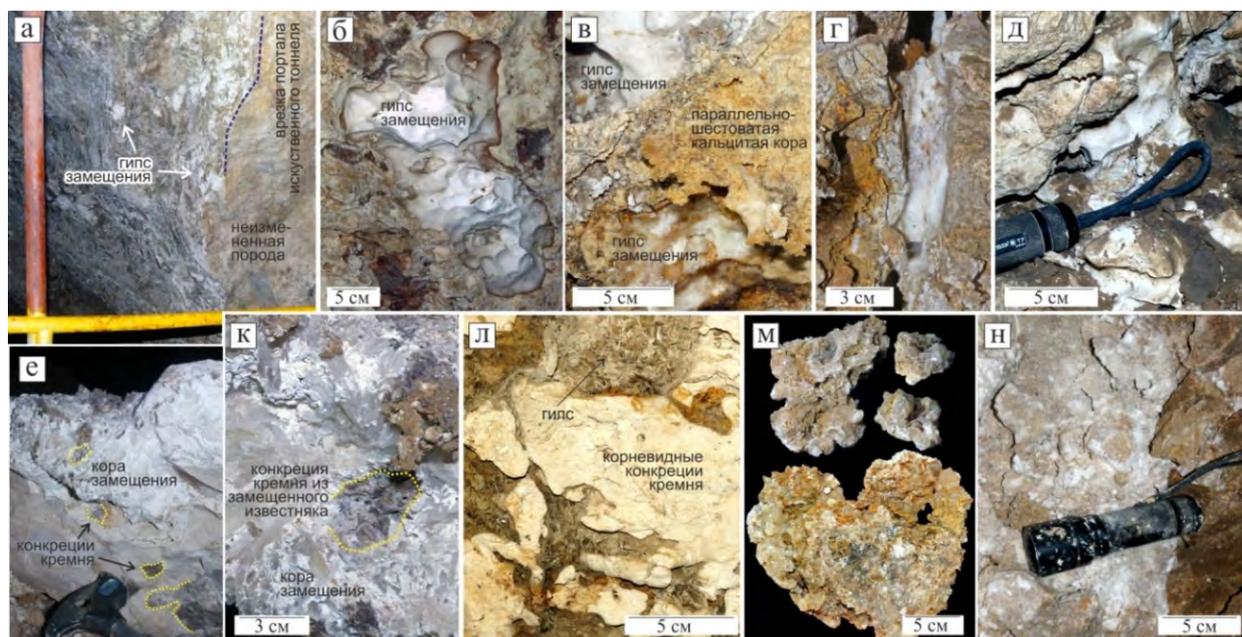


Рис.1. Гипсовые отложения, связанные с сернокислотным замещением известняка.

При замещении мергелистых прослоек в известняках формировались крупнокристаллические формы гипса (рис. 1л, м). Для северных залов характерен слабо сцементированный гипс, сохранившийся в отложениях на полу (рис. 1м, н). Постоянным аксессуаром гипсовых отложений является барит, иногда образующий призматические кристаллы 100-150 мкм и розетковидные агрегаты (рис. 2а, б).

Встречаются включения неопределенного ближе Fe-содержащего фосфата кальция, образующих сноповидные кристаллы 2-10 мкм (рис. 2в). Наиболее вероятным источником фосфора являлись включения фторкарбонатапатита во вмещающих породах. Иногда в гипсе встречается ярозит (рис. 2г) и силикаты кальция – предположительно, волластонит (рис. 2д).

Минералы супергруппы алуниита (главные из которых алуниит и ярозит) типоморфны для целого ряда гипогенных пещер сернокислотного растворения во всём мире, где их происхождение связано с гидролизом глины в кислых условиях [4-8]. В небольших количествах эти минералы иногда формируются и в пещерах эпигенного карста [1, 9, 10], где их происхождение связывают с локальным окислением сульфидов или с ферролизом растворённого железа в присутствии сульфат-ионов. Однако, их проявления, в отличие от SAS-пещер, имеют аксессуарный характер.

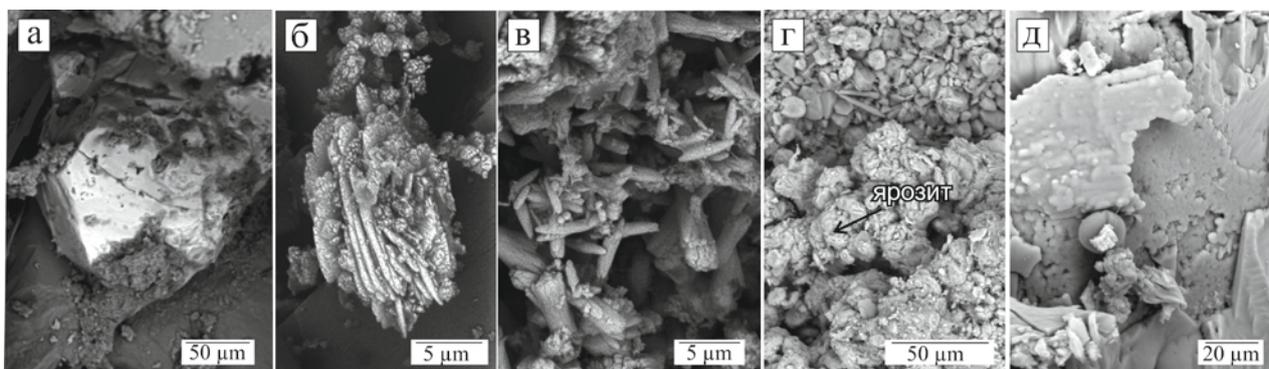


Рис.2. Минералы, сопутствующие гипсу замещения: а, б) барит; в) Fe-содержащий фосфат кальция; г) ярозит; д) силикат кальция.

В Новоафонской пещере *ярозит* $KFe(SO_4)_2(OH)_6$ является основным компонентом ярко-жёлтых отложений глинистого облика, сохранившихся в полостях, не подвергавшихся промыву современными водами (Рис. 3а-г). Наибольшая мощность этих отложений до 2,5-3 м зафиксирована в зале Махаджиров, что указывает на длительные кислые условия, поскольку для кристаллизации ярозита требуется $pH < 3$. В отложениях этого типа имеются переотложенные нерастворимые компоненты горных пород и SAS-гипс (рис. 3б). *Алунит* $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ и *гиббсит* $Al(OH)_3$ были обнаружены в одном из ответвлений зала Апсны в виде гнездовидных включений внутри глинистого осадка преимущественно иллитового состава (Рис. 3г, д).

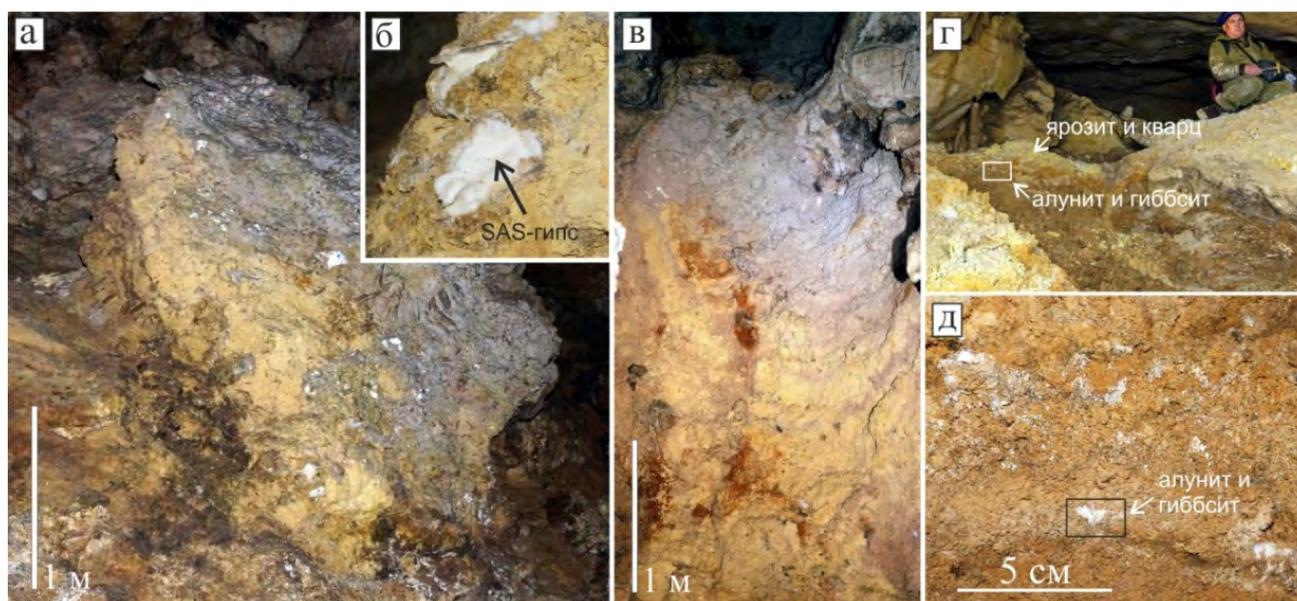


Рис. 3. Отложения, связанные с сернокислотным разложением глин.

Ярозит из отложений зала Махаджиров (рис. 3а) сложен кристаллами до 1 мкм псевдокубического изометричного облика и находится вместе с наноразмерными частицами кварца (рис. 4а). Гипс-ярозитовый агломерат встречается в отложениях грота Оленёнка (рис. 4б, в, г). Гипс сложен уплощёнными чечевицеобразными зёрнами; ярозит представлен сростками микросферолитов размером 2-3 мкм (рис. 4в, г). Кристаллы алунита из зала Апсны

имеют размеры 0,5-1 мкм и псевдокубический облик (рис. 5а), что характерно для SAS-пещер [8]. Гипбсит в ассоциации с ярозитом формирует бело-жёлтые массы землистого облика (Рис. 4б, Рис. 5б).

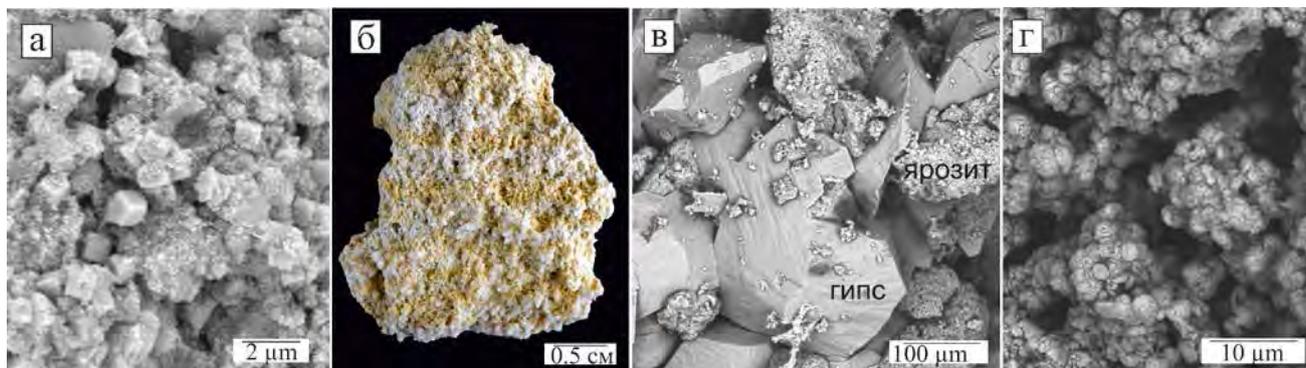


Рис.4. Морфология кварц-ярозитовых и гипс-ярозитовых отложений.

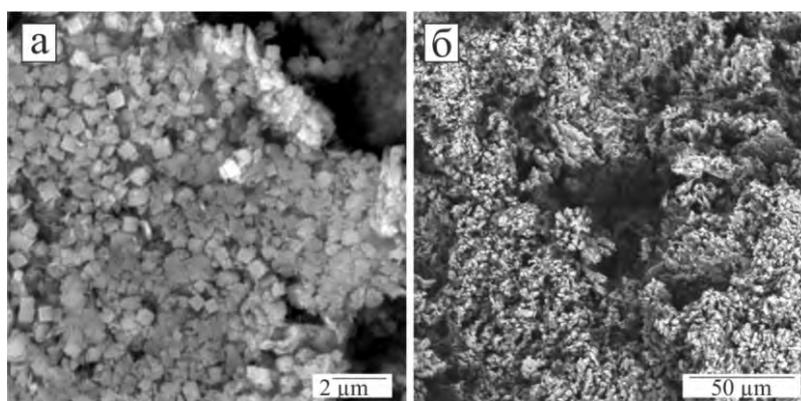


Рис.5. Морфология алунита и гипбсита.

В отложениях встречаются кристаллы гематита (рис. 6а), распространён рентгеноаморфный материал: аутигенные силикаты железа (рис. 6б), алюмосиликаты (6в, г), гидроксиды или оксигидроксиды железа и марганца.

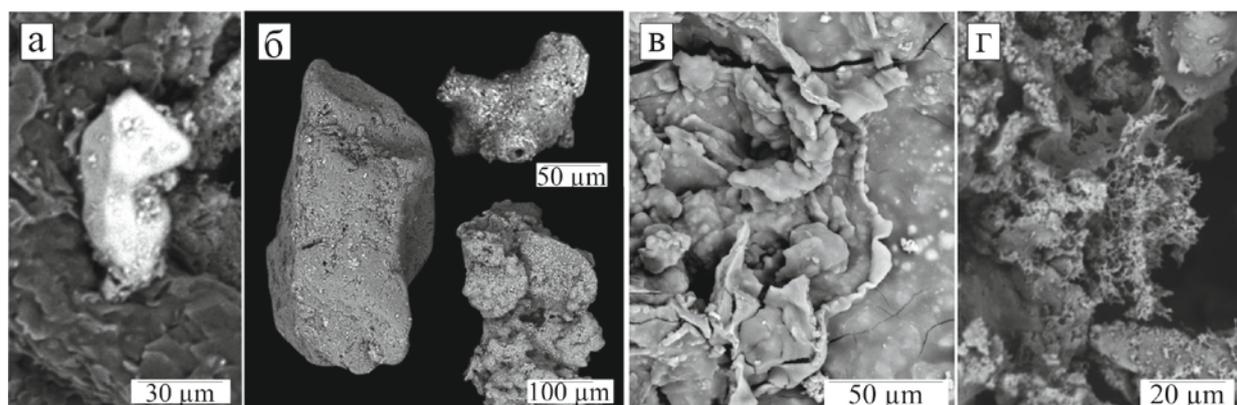


Рис.6. а) гематит; б) силикаты железа; в, д) алюмосиликаты

Кислая среда благоприятствовала осаждению кремнезёма, освобождёвшегося при разложении глин, напрямую в виде кварца. Кварц образует широкое морфологическое разнообразие: встречаются зерна неправильной формы и двойники (рис. 7а), полиэдрические формы (рис. 5б), удлинённо-призматические

кристаллы с дипирамидальными вершинами (рис. 7в, г), розетковидные агрегаты пластинчатых кристаллов (рис. 7д).

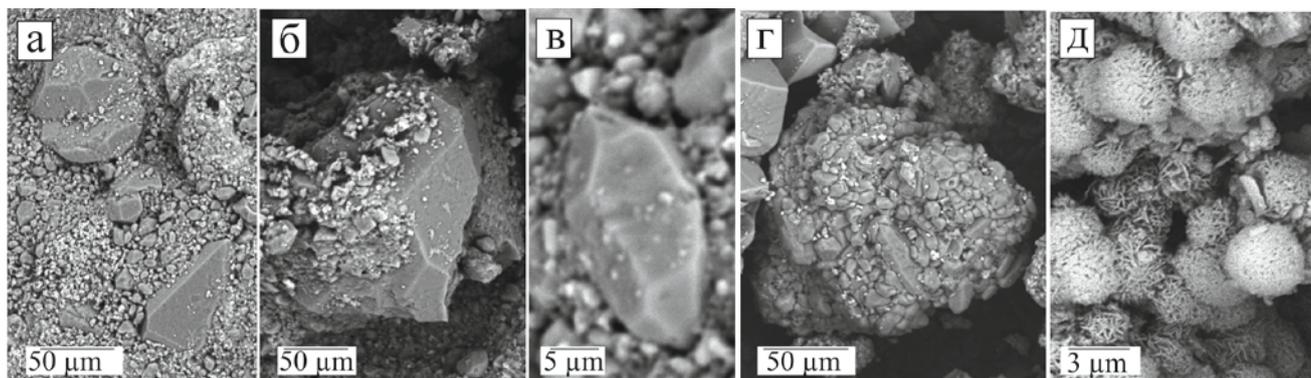


Рис.7. Аутигенный кварц.

Таким образом, в Новоафонской пещере в настоящее время нами выявлены основные минералы (вторичный гипс замещения, барит, эвгедральный вторичный кварц, ярозит, алуниит, гиббсит), входящие в типоморфную ассоциацию для классических полостей сернокислотного растворения [4, 5, 8].

Литература

1. Потапов С.С., Паршина Н.В., Садыков С.А. Современное минералообразование в Кунгурской ледяной пещере // Комплексное использование и охрана подземного пространства. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Пермь: ГИ УрО РАН, 2014. - С. 81-91.
2. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Садыков С.А., Леонова Л.В., Дбар Р.С. Распространение, морфология, изотопный состав серы и генезис гипсовых отложений в Новоафонской пещере (Абхазия) // Минералогия. – 2016. - № 3. - С. 79-94.
3. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Дбар Р.С., Паршина Н.В. Минеральные отложения, связанные со стадией сернокислотного спелеогенеза в Новоафонской пещере (Западный Кавказ, Абхазия) // Уральская минералогическая школа. – 2017. - №23. - С. 215-222.
4. D'Angeli I., Waele D., Carbone J., Parise M., Madonia G., Vattano M. Secondary Minerals From Italian Sulfuric Acid Caves // 17th International Congress of Speleology. Australian Speleological Federation Inc. – 2017. - № I. - P. 237-241.
5. De Waele J., Audra Ph., Madonia G., Vattano M., Plan L., D'Angeli I.M., Bigot J.-Y., Nobécourt J.C. Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: Examples from southern France, Austria, and Sicily // Geomorphology.- 2015. - № 253. - P. 452-467.
6. Palmer A.N., Hill C.A. Sulfuric acid caves // Encyclopedia of Caves (Second Edition). 2012. - С. 810-819.
7. Plan L., Tschegg C., De Waele J., Spötl C. Corrosion morphology and cave wall alteration in an Alpine sulfuric acid cave (Kraushöhle, Austria) // Geomorphology. – 2012. - V. 169. - P. 45-54.
8. Polyak V.J., Provencio P. By-product materials related to H₂S–H₂SO₄ influenced speleogenesis of Carlsbad, Lechuguilla, and other caves of the Guadalupe Mountains, New Mexico // Journal of Cave and Karst Studies. - 2001.- V. 63, №. 1. - P. 23-32.
9. Tămaş T., Kristály F., Barbu-Tudoran L. Mineralogy of Iza Cave (Rodnei Mountains, N. Romania) // International Journal of Speleology. - 2011. - V. 40, № 2. - P. 10.
10. Wray R.A.L. Alunite formation within silica stalactites from the Sydney Region, South-Eastern Australia // International Journal of Speleology. Tampa, FL (USA).- 2011. - № 40 (2). - P. 109-116.

УДК: 551.4.042

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНЫХ ФОРМ СУЛЬФАТНОГО КАРСТА

Крицкая О.Ю., Остапенко А.А., Сомченко П.В.

*Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия;
oksana_krit@mail.ru; andrey_ost@mail.ru; pv_som@mail.ru*

Аннотация: В статье рассматриваются важнейшие особенности развития подземных форм сульфатного карста на территории Западного Кавказа. Среди них выделяются геохимические процессы развития карстовых форм, геология и гидрогеология карстовых массивов. Результатом являются определенные генетические и морфологические типы карстовых форм.

Ключевые слова: сульфатный карст, гидрохимия, морфологические типы пещер.

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF UNDERGROUND FORMS OF GYPSUM KARST

Kritskaya O.Y., Ostapenko A.A., Somchenko P.V.

*Kuban State University, Krasnodar, Russia;
oksana_krit@mail.ru; andrey_ost@mail.ru; pv_som@mail.ru*

Abstract: The article describes the most important features of the development of underground forms of gypsum karst in the territory of the Western Caucasus. Among them are geochemical processes of karst form development, geology and hydrogeology of karst massifs. The result is special genetic and morphological types of karst forms.

Key words: gypsum karst, hydrochemistry, morphological types of caves.

Карстовые процессы и явления в сульфатных отложениях Западного Кавказа приурочены к полосе шириной до 2-3 км в горной депрессии между куэстами Скалистого и Пастбищного хребтов.

Сульфатные породы здесь везде относятся к титонскому ярусу верхней юры. Верхняя часть толщи гидратирована и сложена гипсом, глубже переходящим в ангидрит. Максимальной мощности (от первых десятков до 200 м) сульфатные отложения достигают в междуречьях Белая – Фарс – Губс – Ходзь – Малая Лаба – Большая Лаба – Уруп – Большой Зеленчук. Здесь же сконцентрировано большинство поверхностных и подземных карстовых форм, которые были исследованы авторами [1].

Климатические условия данной территории благоприятны для развития карста, климат умеренно-континентальный, количество атмосферных осадков составляет около 600–900 мм в год, характерен летний максимум (до 80 %) их выпадения [2].

Карст гипсов этого района относится преимущественно к задернованному типу. Отмечаются и довольно обширные участки голого карста. Они в основном связаны с интенсивной эрозией, обусловленной антропогенной деятельностью (распашка, грунтовые дороги).

Большое значение для развития карстовых явлений и образования пещер в исследуемом районе играет интенсивная тектоническая трещиноватость массивов. Именно с крупными разрывными нарушениями связана возможность развития спелеогенеза, тогда как более мелкие трещины, которые пронизывают гипсовый кепрок и проникают в ангидрит, через короткое время закрываются из-за гидратации и увеличения в объеме ангидрита [3]. Такие нарушения хорошо маркируются цепочками воронок на поверхности карстовых массивов.

Отличительными особенностями развития карста исследуемой территории от других районов распространения сульфатных толщ (Урал, Северный Прикаспий) являются:

- 1) Моноклиналиное залегание карстующихся пород.
- 2) Открытость и хорошая дренированность сульфатных отложений.
- 3) Активное атмосферное питание карстовых полостей и хорошая связь с поверхностью.
- 4) Достаточно широкое распространение в карстовых полостях района карбонатных хемогенных образований, что не является характерным для гипсовых пещер других регионов.

При проведении гидрохимических исследований в междуречье большой Лабы и Урупа на хр. Черноморский (известен также как Экепце-Гадык) нами было подтверждено, что карстовые процессы развиваются именно в толще гипса, так как концентрация ионов сульфата кальция превышала возможные значения растворимости ангидрита при данной температуре (от 7,5 до 8,4° С на различных участках пещеры) и имела значения в пределах 2,2 – 2,3 г/л. Кроме того в наиболее крупной пещере района (п. Пшаше-Сэтэнай) было установлено, что насыщенность раствора не растет по ходу движения водотока, а даже иногда падает, что наиболее вероятно связано с постоянным притоком воды с поверхности на различных участках пещеры. Так, например, суммарное содержание SO_4 и Ca в водотоке у верхнего входа составило значение 2,26 г/л, а у нижнего 2,20 г/л, в то же время на одном из притоков пещеры этот показатель достиг максимума - 2,29 г/л (рис. 1). При этом максимальная растворимость гипса при данной температуре составляет величину около 2,4 г/л. Если учесть, что часть ионов кальция (хотя и незначительная) поступает с поверхности при фильтрации через почву и связана с карбонатами, то можно сделать вывод, что раствор не получает здесь полного насыщения, как минимум в зимний период, когда мы проводили наблюдения, а карстовая денудация продолжается на всем протяжении пещеры.

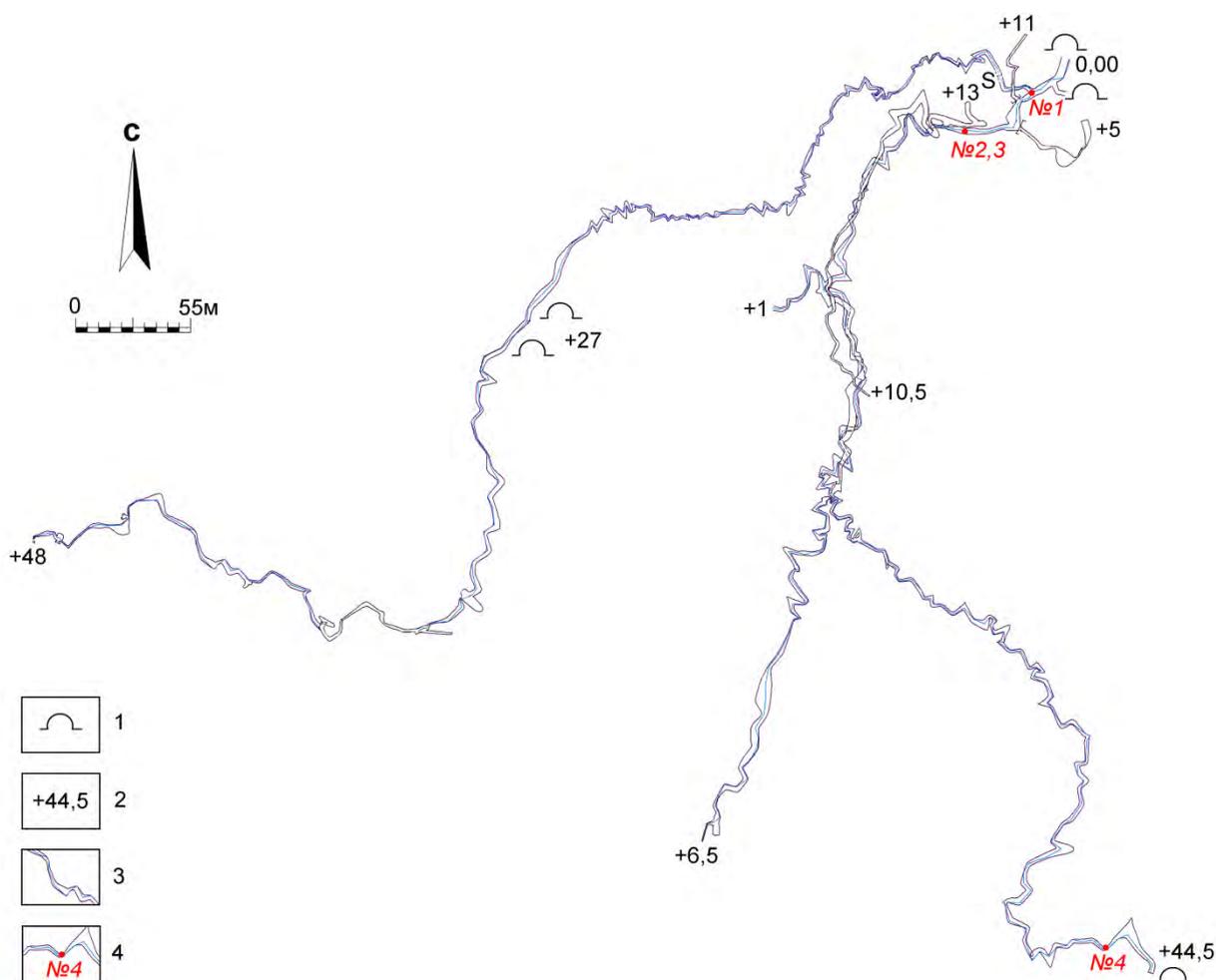


Рис. 1. План системы пещер Пшаше-Сэтэнай.

Условные обозначения: 1 – входы; 2 – отметки относительно нижнего входа; 3 – ходы с водотоками; 4 – места отбора проб воды.

Также необходимо отметить повышенное содержание иона HCO_3 в небольших притоках, попадающих в пещеру с поверхности. Здесь под каплей и небольшими струйками воды образуется большое количество карбонатных хемогенных образований. Это в основном кораллиты и натечные коры. Сталактиты и сталагмиты встречаются относительно редко и имеют небольшие размеры. Среди аллювия в пещерах, а также на поверхности встречаются и более мощные карбонатные натечные коры, оставшиеся от предыдущей генерации пещер. В условиях исследуемого района активное образование карбонатных форм, по нашему мнению, связано с образованием термодинамического геохимического барьера при быстром попадании холодных вод с поверхности зимой в теплые пещеры. Разница температур достигает около $7-8^\circ \text{C}$. При этом одновременно должно происходить и уменьшение парциального давления углекислого газа. Таким образом, можно предположить, что очень типичное для гипсовых пещер Западного Кавказа образование карбонатных натечных форм здесь связано с климатическими особенностями региона.

Морфология карстовых форм в сульфатных отложениях на Западном Кавказе также имеет свои особенности.

Поверхностные формы представлены крупными карстовыми воронками диаметром 100-200 м, как правило, расположенными линейно вдоль разрывных нарушений. Многие цепочки воронок индицируют расположенные под ними пещеры. Это ярко выражено на некоторых массивах, например, на хр. Черноморском.

Характерной чертой карстового рельефа исследуемой территории является также наличие положительных карстовых форм, являющихся в большинстве случаев реликтами разрушившихся в результате денудации пещер. К ним можно отнести: карстовые останцы, мосты и арки. Такие формы весьма многочисленны в данном регионе и являются довольно типичным элементом карстового ландшафта. Это обусловлено высокими темпами карстовой денудации, малой прочностью гипса и активными тектоническими поднятиями территории. В результате здесь отчетливо видно, как одна генерация карстовых форм сменяет другую, чего практически не наблюдается в районах развития карбонатного карста на Кавказе.

В связи с узостью и прерывистостью полосы гипсов подземные формы карста распространены лишь на тех участках, где гипсы отличаются значительной площадью, мощностью и перепадом высоты понор – дрена. Такие участки расположены преимущественно в междуречье Фарс – Уруп, где сконцентрированы наиболее развитые и крупные пещеры: 77 % по количеству, 93 % по длине, 89 % по площади и 93 % по объему. Из этого участка, в свою очередь можно выделить междуречья Ходзь– М. Лаба и Б. Лаба – Уруп, к которым приурочены все полости длиннее 1000 м, а всего известно 9 пещер с длиной более 500 м (табл. 1) [1]. При более тщательном исследовании этих районов есть шансы найти значительное количество новых пещер длиной от первых десятков до сотен метров.

Полости представлены в основном пещерами речного типа (или сквозными) древовидной в плане формы, горизонтального, наклонного или ступенчатого профиля, иногда многоэтажными. Изредка встречаются пещеры, приуроченные к трещинам бортового отпора.

Для пещер речного типа характерно наличие вводно-аккумулятивных отложений, следов действия водотоков на стенах (террасовидные ниши, а также факетки растворения), четко выраженное направление понижения дна полости (стока). Поперечные сечения большинства пещерных ходов вытянуты по вертикали и иногда осложняются тем, что на некоторых стадиях развития полости ход меандрировал.

Таким образом, можно сделать вывод, что развитие карста в сульфатных отложениях на Западном Кавказе имеет свои хорошо выраженные региональные особенности. Карст развивается здесь очень активно и оказывает большое влияние на инженерно-геологические, гидрогеологические и ландшафтные условия территории.

Таблица 1

Распределение гипсовых пещер и их морфометрических параметров по районам Западного Кавказа

Участок между реками	Протяженность участка, км	Ориентировочная площадь участка, км ²	Количество пещер	Общая протяженность пещер, м	Общая площадь пещер, м ²	Общий объем пещер, м ³	Крупнейшая пещера, длина/амплитуда, м
Белая – Фарс	10	20	-	-	-	-	не известна
Фарс – Губс	8	16	10	1827	3481	8220	МАГ-КГСС, 444/13
Губс – Ходзь	13	26	1	67	178	364	Зубашенко, 375/23
Ходзь - М. Лаба	14	80	17	4404	8851	44388	Аммональная 1464/114
М. Лаба - Б. Лаба	10	20	5	1719	6995	22950	Гунькина-4, 1145/60
Б. Лаба – Уруп	12	26	11	7980	15161	41025	Пшаше-Сэтэнай, 2690/47,8
Уруп - М. Зеленчук	14	45	13	1734	4241	7555	Самородная, 435/22

Литература

1. Остапенко А.А., Крицкая О.Ю. Основные черты гипсового карста Западного Кавказа // Географические исследования Краснодарского края. Сб. научн. трудов. — Краснодар, 2005. – С. 115–124.
2. Чикишев А.Г. Географические условия развития карста. – М., Изд-во МГУ, 1975. – 116 с.
3. Якуч Л. Морфогенез карстовых областей. – М., «Прогресс», 1979. – 388 с.

УДК: 551.44

**ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ЭВОРЗИОННЫЕ ПЕЩЕРЫ
ВОЗВЫШЕННОСТИ СОКАНЛИННА (ВЫБОРГСКИЙ РАЙОН
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ). МОРФОЛОГИЯ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ И
ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Агапов И. А.¹, Хлебалин И. Ю.², Ляхницкий Ю.С.³

¹Русское географическое общество, СПб, Россия; *agapov_ilya@mail.ru*

²ООО «АРДЖЕЙСИ СИБИРЬ», СПб, Россия; *hlebalin@bk.ru*

³ВСЕГЕИ, СПб, Россия

Аннотация: Возвышенность Соканлиннаявуори, расположенная в Выборгском районе Ленинградской области, сложена гранитами. В них развиты эворзионные и тектонические пещеры. По своей морфологии и истории использования данные объекты уникальны для своего региона.

Ключевые слова: псевдокарст, эворзионные пещеры, тектонические пещеры, граниты, Балтийский щит.

**TECTONICAN DEVORSION CAVES OF SOKANLINNA HILL
(VYBORG DISTRICT OF THE LENINGRAD REGION):
MORPHOLOGY, ORIGIN AND HISTORY OF USE**

Agapov I.A.¹, Khlebalin I.Y.², Lyakhnitsky U.S.³

¹Russian Geographical Society, SPb, Russia; *agapov_ilya@mail.ru*

²RJC Syberia, SPb, Russia; *hlebalin@bk.ru*

³VSEGEI, SPb, Russia

Abstract: The Sokanlinna hill, located in the Vyborgsky District of the Leningrad Region, is composed of granites. They are developed evorsion and tectonic caves. According to their morphology and history of use, these objects are unique for their region.

Keywords: pseudo-karst, evorsion caves, tectonic caves, granites, the Baltic Shield.

Территория Ленинградской области бедна пещерами естественного происхождения. Большинство из них – более 20 отдельных полостей суммарной длиной около 440 м [5] – относятся к суффозионным и расположены на Главном девонском поле. Поэтому очень интересны природные полости, находящиеся в северной части Карельского перешейка в толще гранитов, – горных пород, не подверженных суффозионному и карстовому процессам.

Исследования пещер возвышенности Соканлинна проводились членами Русского географического общества (РГО) в 2010-2016 гг. За это время произведены топографические работы и структурно-геологические исследования. Краткие результаты исследования были опубликованы в нескольких статьях [4,5,6]. Первые

результаты исследования и особенности происхождения пещер были рассмотрены на заседаниях комиссии карстоведения и спелеологии РГО в 2010-11 гг.

Скальный массив Соканлинна расположена в 0,8 км северо-западной пос. Красный Сокол (Выборгский район Ленинградской области) рядом с границей с Финляндией. Исторически эта территория называется Антреа (Antrea), финское название города Каменногорска. В переводе с финского языка название массива "Гора крепость Сока" (Sokanlinnavuori). В районе развит структурно-денудационный холмисто-грядовый рельеф, сформированный, главным образом, в последнюю стадию Великого четвертичного оледенения. Площадь основной части массива около 5000 м² (50x100 м). Абсолютная высота вершины около 43 м над уровнем моря и 25 м над окружающей местностью. Массив представляет собой типичный "бараний лоб" с вертикальной стенкой с юго-восточной стороны, и наклонной с северо-западной, сглаженной наступающим ледником. На поверхности массива наблюдается хорошо выраженная штриховка, ориентированная по азимуту 140°. Скальный массив слагают плагиомикроклиновые граниты Выборгского массива с грубой порфиروبластовой структурой [1] и массивной текстурой.

Первые упоминания о пещерах Соканлинны относятся к середине XIX в. в «Истории Финляндии» Захариаса Топелиуса (1845 г.) [2]. Согласно фольклорным данным, пещеры в основном использовались как убежище во время военной опасности [2, 9]. Такое последнее использование, скорей всего, относится к первой четверти XVIII века (затем ситуация стабилизировалась). Следов постоянного поселения и каких-либо искусственных укреплений археологами не было обнаружено [8]. Пещеры в XIX веке посещались различными исследователями. Описания пещер того времени в целом соответствуют современной конфигурации.

Пещеры первой группы находятся на участке гранитного массива длиной 30 м и шириной 15 м, расположенном в юго-восточной части возвышенности. В эту группу входят четыре пещеры (рис. 1). Длина пещер составляет соответственно: 1 – 25 м (амплитуда 4,7 м); 2 – 32 м (амплитуда 4,7 м); 3 – 14 м (амплитуда - 0,5 м); 4 – 4 м (амплитуда 2 м). Таким образом, суммарная длина пещерной системы составляет 75 м.

В историческом плане наиболее примечательна 1-я пещера. Согласно преданиям, в нее могло вместиться до 100 человек [9]. Пещера названа за ее крестообразную в плане форму - Крестно-церковная (*Ristikirkoksi*). Возможно, что пещера использовалась как временная церковь или часовня во время военной опасности. Такое использование пещер известно на территории Финляндии [7]. Пещера, через систему небольших колодцев имеет мало-заметный выход на верху массива. Вход в пещеру представляет собой узкую трещину. Часть стен вогнуто, что заметно на прорисовке поперечного сечения одного из ходов (рис.1, разрез К-К).



Съемка: И.А.Агапов, И.Ю.Хлебалин, РГО, 2015-2016гг.

Рис. 1. Пещеры возвышенности Соканлинна.

Топосъемка: Агапов И., Хлебалин, И., Рожков В., Лумпова О., Данилова Л. 2015-2016 гг. Обработка материалов: Агапов И., Хлебалин И., 2016-2017. СПб. Русское географическое общество. Комиссия карстоведения и спелеологии.

Вторая пещера, интересна тем, что имеет один наклонный и несколько вертикальных выходов в виде колодцев, выходящих на поверхность массива. В первой и второй пещере наблюдаются вогнутые стены, которые, образовались за счет эрозионного воздействия талых вод ледника с абразивным материалом. Наиболее отчетливо это проявлено во второй пещере (рис.1, разрез J-J).

Часть ходов сформировалась в наклонных трещинах (рис. 1, разрез L-L). Граниты, слагающие скальный массив разбиты трещинами, среди которых преобладают три системы: субвертикальные северо-западного простирания $317^\circ < 90^\circ$, субвертикальные северо-восточного простирания $37^\circ < 78^\circ$ и пологие и субгоризонтальные $69^\circ < 7^\circ$. Преобладающая ориентировка установлена при статистической обработке замеров элементов залегания трещин в программе StereoNet (рис. 2).

Таким образом, пещеры этой группы образовались при раскрытии тектонических трещин и сравнительно небольшом эрозионном воздействии талых ледниковых вод с абразивным материалом. Скорей всего, в раскрытии трещин было несколько этапов землетрясений различной силы при поднятии массива после таяния ледника. Ближайшая пещера со стенами такого типа – Högbergetin расположена к юго-западу от Хельсинки [10]. Длина этой пещеры около 7 м. Она также имеет вогнутые стены. Ее возраст – более 11 000 лет. В районе четвертой пещеры, находятся завалы крупных глыб и блоков гранита. Там, возможно, находятся полости, не имеющие выхода на дневную поверхность.

Пещеры второй группы находится в 20 м северо-западной пещер первой группы (рис.1, № 5, 6). Она состоит из двух пещер, которые называются по-фински *hiidenkirnu*, «маслобойки хийси» - мельницы лесных духов Хийси [9]. Так обычно в финском фольклоре называли ледниковые водобойные колодцы и блюда. Это наиболее интересные по генезису пещеры, прямых аналогов которых пока нам не известны (имеется неподтвержденная информация о похожих объектах в одном из регионов Финляндии). Скорей всего, такие объекты, хоть и редко,

но должны встречаться. В «Suomen Luolat», наиболее полной монографии, посвящённой природным пещерам Финляндии, подобных объектов не описано [10]. На территории России аналоги также неизвестны.

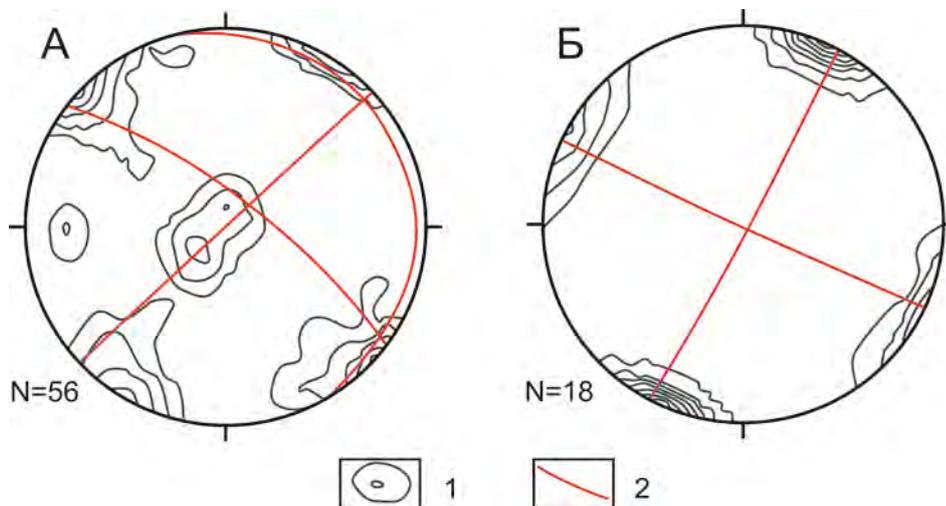


Рис. 2. Стереографические проекции (нижняя полусфера) элементов залегания трещин отдельности в гранитах. А – юго-восточная часть массива (пещеры первой группы), Б – северо-западная часть массива (пещеры второй группы).
Условные обозначения: 1 – изолинии плотности распределения проекций полюсов, 2 – статистически полученная – аппроксимация ориентировки системы трещин.

Пещеры представляют собой две полости длиной 4 и 3.5 м, яйцеобразной, овоидной формы, амплитудой около 2 м. Они находятся на расстоянии около 6 м друг от друга. Пещеры имеют близкую морфологию, но отличаются размерами. Входы в полости узкие. По упавшим гранитным плитам (скорей всего, после землетрясений), лежащим рядом с пещерами, видно, что входные лазы в пещеры раньше были длиннее примерно на 1 м. На рис. 1 отслоившиеся упавшие блоки находятся северней и северо-восточней пещеры 5. На этом же рисунке литерой F показаны глыбы гранита, которые частично отслоились по вертикальным трещинам, но не упали.

Вход в пещеру № 5 находится на высоте около 100 см от земли в вертикальной стенке гранитного массива. Высота входа 140 см, ширина 65 см. Длина – 20-30 см. Полость за входным проемом в плане овоидная с наклоном вверх. Длина по наклонному полу около 400 см. Общая высота от низа входа до верха свода в дальней (верхней) части пещеры 270 см. В верхней части полости ближе ко входу заметны следы выветривания, покрытые копотью от костров. Поперечное сечение полости также овоидное с высотой по центру 215 см и шириной 170 см.

Вход в пещеру № 6 находится на высоте 60 см от земли в вертикальной стенке гранитного массива. Высота входа 130 см, ширина 65 см. Длина – 30 см. Полость за входным проемом в плане овоидная с наклоном вверх. Длина по наклону около 300 см. Высота в районе входа 165 см. Общая высота от низа входа до верха свода в дальней (верхней) части пещеры около 210 см. Поперечное сечение полости овоидной формы с высотой по центру 180 см, шириной 190 см. Справа от вхо-

да в полость находятся два отслаивающихся блока с вертикальными расщелинами (рис. 1, лит. F).

Северо-западная часть возвышенности Соканлинна разбита субвертикальными трещинами, по которым заложены полости пещер. Преобладают трещины двух систем северо-западного простирания $118^\circ < 88^\circ$ и северо-восточного простирания $205^\circ < 89^\circ$.

Пещеры имеют природное происхождение и, вероятно, образовались при эвормионных, эрозионных и кавитационных процессах – воздействии абразивной смеси воды с песком и вращении крупных обломков гранита напорным воздействием талых ледниковых вод. При этом морфология пещер контролируется развитой в массиве трещиноватостью. Особенность пещер, – в том, что они имеют восходящее вверх направление в дальней части. При этом вход в полость достаточно узкий. Это отличает их от большого количества (более 5000 шт.) ледниковых выбоин – эвормионных «водобойных» котлов, распространенных в Финляндии, которые имеют форму блюдца, колодца, навеса или ниши, образованных водоподами. Важным доказательством их водобойного происхождения является гладкая поверхность в дальней части полости (не подвергнувшейся выветриванию) свойственная воздействию от потоков воды (такую поверхность можно наблюдать на водобойных блюдцах и колодцах Финляндии), а также следы воздействия от водных потоков на вогнутых стенах пещер №1, 2. Изначально там были вытянутые полости с узким входом. Вследствие последующих землетрясений стенки этих пещер (№1 и 2) сместились и частично расширились.

Группа авторов [2, 3], исследовавших полости в 2014 и 2017 гг. считают, что пещеры № 5, 6 имеют искусственное происхождение и были созданы с помощью метода выжигания, при разведении костра и охлаждении стен водой. В качестве доказательства приводятся следы температурного воздействия на поверхность гранита. Эта версия, на наш взгляд, слабо аргументирована. Следов явного температурного воздействия на стены не выявлено. Детальный осмотр образцов поверхности полостей установил отсутствие зоны термической обработки (закалки). На момент подачи тезисов образцы еще находятся на изучении в лаборатории ВСЕ-ГЕИ СПб. Коллектив А. Потравнова рассматривает несколько возможных целей, с которыми могли быть созданы пещеры, которые данные авторы полагают искусственными: в качестве кладовой либо погреба для припасов и в качестве бани. Создание искусственного подземного сооружения всегда является достаточно трудоёмким процессом, поэтому должно быть оправдано чем-либо, если те же хозяйственные задачи могут быть решены иным способом.

Использование подобного сооружения в качестве хранилища для припасов нецелесообразно: пещеры удалены от мест проживания местного населения. Их форма крайне неудобна для размещения в них значительного объёма продуктов. Но наиболее важное возражение: пещеры заложены по системе субвертикальных тектонических трещин, которые крайне легко проницаемы для воды, поэтому продукты, размещённые в пещере всегда будут подвергаться воздействию влаги.

Использование пещер в качестве бани выглядит ещё менее правдоподобно и даже несколько комично. В данном регионе на протяжении периода времени, к которому А. Потравнов и его коллеги относят создание искусственных пещер,

местное население использовало традиционные бани, построенные из дерева. Бани располагались возле жилища. В окрестностях Красного Сокола никогда не было нехватки дерева в качестве строительного материал. Никакими соображениям невозможно объяснить строительство бани в скальном массиве вдали от основного жилища.

Следы искусственного воздействия на массив и копоть от костров, вероятно, связаны с посещением пещер период XIX - XX вв., когда они были популярны у финских туристов и местных жителей в качестве места проведения досуга. Внутри сферических полостей на месте якобы выявленных температурных воздействий имеются такие же следы выветривания, как на поверхности массива (только с копотью от костров). Во время посещения полостей в марте 2018 года нами было отмечен иней и лед на тех участках полостей (верхняя привходовая часть), где следы выветривания максимальны. В то же время на фрагментах, которые сохранились лучше всего - инея нет.

Еще одним фактором, ставящим под сомнение искусственное происхождение полостей, является то, что ни в одной из финских источников нет явных упоминаний об искусственном происхождении пещер (кроме фольклорных представлений об искусственном происхождении [9] гладких стен) и каких-либо разработок камня. Даже если предположить, что в гранитном массиве была ограниченная кустарная добыча камня, то это вовсе не доказывает искусственное происхождение самих полостей.

Таким образом, описаны две группы природных пещер в гранитном массиве Соканлинна, представляющие большой научный и экскурсионно-туристический познавательный интерес. Из шести изученных пещер две являются уникальными, имеющими форму овоидов, сформированных напорными ледниковыми водами при эвортонных, эрозийных и кавитационных процессах. Рассмотрены их две версии происхождения. Научная дискуссия по этому поводу будет опубликована в другой работе.

Необходимо придать этому массиву с пещерами статус геологического памятника природы, а также организовать экскурсии для ознакомления с этим интереснейшим объектом.

***Благодарности.** Авторы выражают огромную благодарность участникам полевых исследований: С.В. Пинчуку, В.В. Рожкову, О.Ю. Лумповой, Ларе Даниловой, М.А. Пантелейкову, А. В. Козлову, Д.Н. Бадяеву за помощь в обследовании пещер.*

Литература

1. Киселев И.И., Проскуряков В.В., Саванин В.В. Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. - СПб., 1997. - 197 с.
2. Потравнов А.Л., Хмельник Т.Ю., Мирошниченко П.О. Подземелья Северо-Запада России: Научно-популярное издание. Книга для путешественников. – СПб: изд-во «Амфора», 2015 – С. 141-144.
3. Потравнов А.Л., Хмельник Т.Ю. К вопросу о генезисе полостей Соканлинны // Спелеология и спелестология: Сборник материалов VIII международной научной конференции. – Наб. Челны: НГПУ, 2017. - С.251-256.

4. Хлебалин И.Ю, Агапов И.А. Морфология и происхождение пещер возвышенности Соканлинна (Выборгский район Ленинградской области)// Материалы XXVII молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова, 3-7 октября 2016, Апатиты. – 2016. -С. 209-213.

5. Agapov I.A. Natural caves of the North-West of Russia. The use of caves in human culture // Proceedings of the 13th National Congress of Speleology. 2012 - P. 63-67.

6. Agapov I.A., Khlebalin I.Y., Lyakhnitsky Y.S. Caves of the Sokanlinna granite massif, Vyborg District (Leningrad Region, Russia) //Pseudokarst Commission Newsletter. - Krakow, 2016.- № 26 - P. 15-22.

7. Kejonen A. On Finnish caves // Symposium 4: Exploration and Speleology, Proceedings of the 12th International Congress of Speleology. Switzerland - 1997.- Volume 4. - P. 93-98.

8. Pirjo Uino. Ancient Karelia (Archaeological Studies). - Helsinki: Finska Fornminnesföreningens Tidskrift, 1997. – 213 p.

9. Simonen S. Antrea: Antrean ja Vuoksenrannan kuntien muistojulkaisu. - Helsinki: Kustantaja, 1951. – 601 p.

10. Kesäläinen T., Kejonen A., Kielosto S., Lahti S.I., Salonen V.-P. Suomen Luolat.- Salakirjat, 2015. – 432 p.

МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЩЕРНОЙ СРЕДЫ.
ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИИ И КЛИМАТА

УДК: 556, 551.5

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЖИМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ИЗОТОПНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ КРЫМА В 2010-2014

Дублянский Ю.В.¹, Климчук А.Б.², Токарев С.В.³, Амеличев Г.Н.³, Шпётль К.¹

¹Институт геологии Инсбрукского университета, Инсбрук, Австрия;

yuri.dublyansky@uibk.ac.at

²Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина

³Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Республика Крым

Аннотация: Представлены результаты первого систематического исследования изотопного состава атмосферных осадков Крыма, проведенного по методике GNIP и охватывающего 2010-2014 гг. По результатам режимных наблюдений в Симферополе и на нижнем плато Чатыр-Дага получено уравнение локальной линии метеорных вод $\delta^2\text{H} = 7,3 \cdot \delta^8\text{O} + 4,8$. Годовой ход изменения изотопных характеристик осадков, в целом, коррелирует с сезонностью. Последняя выражена в изменении температуры, но также сопровождается сменой доминирующего источника, поставляющего влагу на полуостров.

Ключевые слова: атмосферные осадки, изотопный состав.

RESULTS OF SYSTEMATIC ANALYSES OF ISOTOPES IN METEORIC
PRECIPITATION OF CRIMEA IN 2010-2014

Dublyansky Y.V.¹, Klimchouk A.B.², Tokarev S.V.³, Amelichev G.N.³, Spötl C.¹

¹Institute of Geology, Innsbruck University, Innsbruck, Austria;

yuri.dublyansky@uibk.ac.at

²Institute of Geological Sciences, National Academy of Science of Ukraine, Kiev, Ukraine

³V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea

Abstract: We present results of first systematic study of isotopic composition of meteoric precipitation in Crimea, performed according to GNIP methodology and covering the period of 2010-2014. On the basis of regular sampling in Simferopol and at the lower plateau of Chatyr-Dag, equation for local meteoric water line was derived: $\delta^2\text{H} = 7,3 \cdot \delta^8\text{O} + 4,8$. Time series of isotope properties of precipitation show significant correlation with seasonality. The latter is expressed as temperature change but also involves swapping the dominant source supplying moisture to the peninsula.

Keywords: atmospheric precipitation; isotope composition.

При интерпретации результатов гидрогеологических исследований важную помощь могут оказать знания об изотопном составе атмосферных осадков, питающих подземные воды. Эта информация необходима также при проведении палеоклиматических исследований. Доступные к настоящему времени данные по изотопному составу атмосферных осадков Крымского полуострова бедны и не систематичны. С 2010 г. нами проводился отбор и изотопный анализ проб осадков на двух станциях: в г. Симферополе (44,98° с.ш., 34,15° в.д., 290 м в.у.м.) и на нижнем плато Чатыр-Дага (44,80° с.ш., 34,29° в.д., 980 м в.у.м.). Опробование проводилось по методике GNIP (Global Network on Isotopes in Precipitation [3]). Анализы выполнялись в Институте геологии Инсбрукского университета (Австрия) с использованием масс-спектрометров Delta XL^{Plus} и Delta V Advantage (ThermoFisher Scientific), а также анализатора L2140i (Picarro). Метеорологические данные (температура воздуха и количество осадков), использованные при анализе результатов, были получены на сертифицированных Всемирной Метеорологической Организацией метеостанциях: Аэропорт Симферополь (WMO33946; 45,0522° с.ш., 33,9753° в.д., 180 м в.у.м.; расположена в 12 км на ЗСЗ от точки отбора осадков Симферополь) и Ангарский перевал (WMO33958; 44,7556° с.ш., 34,3411° в.д., 765 м в.у.м.; расположена в 6 км ЮЮВ от точки отбора Чатыр-Даг).

По среднемесячным значениям, полученным для Симферополя (67) и Чатыр-Дага (44) были рассчитаны локальные линии метеорных вод. В пределах аналитической погрешности они совпадают (результатирующее уравнение: $\delta^2\text{H} = 7,3 \cdot \delta^{18}\text{O} + 4,8$). Как видно, крымская локальная линия несколько отличается от глобальной линии метеорных вод ($\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$). Значение углового коэффициента менее 8 указывает на вторичное испарение дождевых капель по мере их движения сквозь сухой воздух.

Среднегодовые значения изотопного состава осадков были рассчитаны по годам, для которых имелись полные серии ежемесячных анализов (табл. 1).

Как и следовало ожидать, изотопный состав осадков Чатыр-Дага несколько «облегчён» по сравнению с таковым Симферополя, расположенного на 690 м ниже. Понижение изотопных значений с высотой было определено как $-0,17 \pm 0,07 \text{‰}/100 \text{ м}$ для $\delta^{18}\text{O}$ и $-1,0 \pm 0,8 \text{‰}/100 \text{ м}$ для $\delta^2\text{H}$ (ошибка 1 σ), что согласуется со значениями, полученными для Европы (среднее для $\delta^{18}\text{O} = -0,21 \text{‰}/100 \text{ м}$; [5]).

В Крыму период с ноября по март считается холодным временем года, а с апреля по октябрь – тёплым [1]. Средневзвешенные значения $\delta^{18}\text{O}$ холодного времени года, как правило, ниже таковых в теплое время года. При этом, межсезонная разница вариабельна, изменяясь от 0,2 до 7,1 ‰ в разные годы. В 2013 г. на Чатыр-Даге сложилась необычная ситуация, когда среднее значение $\delta^{18}\text{O}$ холодного периода оказалось «тяжелее» тёплого на 0,5 ‰ (на 3,7 ‰ для $\delta^2\text{H}$).

Анализ показал, что распределения плотности вероятности большинства измеряемых параметров (среднемесячные значения T воздуха, количества осадков, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, избытка дейтерия) отличаются от нормального. В связи с этим, при сравнении временных рядов, помимо линейного коэффициента корреляции Пир-

сона (r) рассчитывался также коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ) (табл. 2).

Таблица 1

Средневзвешенные годовые значения изотопных характеристик атмосферных осадков в Симферополе и на нижнем плато Чатыр-Дага

Год	Количество осадков (мм)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ VSMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ VSMOW)
Симферополь			
2011	391	-7,5	-52,0
2012	316	-8,5	-57,3
2013	533	-8,8	-55,8
Чатыр-Даг			
2011	1097	-8,2	-55,2
2012	733	-10,2	-70,5
2013	719	-9,1	-59,5
Разница Чатыр-Даг–Симферополь			
2011	706	-0,7	-3,1
2012	417	-1,7	-13,2
2013	186	-1,7	-3,7

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между аналогичными среднемесячными параметрами, измеренными на различных точках. Также показаны критические значения коэффициентов корреляции для соответствующих уровней значимости α

Статистические показатели	Метеостанции Аэропорт Симферополь и Ангарский перевал		Точки отбора осадков Симферополь и Чатыр-Даг		
	T	Количество осадков	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Избыток D
n	58		45		
r	0,995	0,683	0,719	0,684	0,699
$r_{\text{крит.}} (\alpha=0,05)$	0,261		0,296		
$r_{\text{крит.}} (\alpha=0,01)$	0,338		0,382		
ρ	0,992	0,814	0,699	0,649	0,705
$\rho_{\text{крит.}} (\alpha=0,05)$	0,218		0,254		
$\rho_{\text{крит.}} (\alpha=0,01)$	0,306		0,355		

Как видно, параметры, измеренные на «предгорных» (Аэропорт Симферополь и Симферополь) и «горных» (Ангарский перевал и Чатыр-Даг) точках наблюдения значительно коррелированы. При этом анализ временных рядов наблюдений при

помощи скользящего окна корреляции (за 6 мес.) показал более сложную картину. Для всех параметров, кроме T (для которой корреляция устойчива), наблюдаются периоды, протяженностью в несколько месяцев, когда они значительно коррелированы, а также периоды отсутствия корреляции.

$\delta^{18}\text{O}$ сравнивался с метеорологическими параметрами (табл. 3). Из таблицы видно, что изотопный состав осадков для обеих точек наблюдения (Симферополь и Чатыр-Даг) показывает значительную корреляцию с температурой воздуха (полужирное выделение). Статистически значимой корреляции между $\delta^{18}\text{O}$ и количеством осадков не наблюдается.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между среднемесячными метеорологическими параметрами и $\delta^{18}\text{O}$

	$\delta^{18}\text{O}$ vs T		$\delta^{18}\text{O}$ vs количество осадков		Критические значения	
	Симферополь	Чатыр-Даг	Симферополь	Чатыр-Даг	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
r	0,495	0,628	-0,143	-0,158	0,296	0,382
ρ	0,510	0,657	-0,188	-0,199	0,254	0,355

Для выявления роли различных источников влаги в формировании атмосферных осадков Крыма использовалась лагранжева траекторная модель [2, этот сборник]. Результаты анализа корреляционных связей между изотопными характеристиками осадков и источниками влаги представлены в таблице 4.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между метеорологическими и изотопными параметрами и долями источников влаги в балансе осадков (среднемесячные значения за 2011-2015 гг.; $n = 45$; $r_{\text{крит.}} = 0,382$ для $\alpha=0,01$; $r_{\text{крит.}} = 0,296$ для $\alpha=0,05$)

Источник влаги	Суша (летний источник)	Черное море	Средиземное море и Атлантика (зимний источник)
Симферополь			
T	0,79	0,15	-0,85
Количество осадков	0,14	-0,20	-0,04
$\delta^{18}\text{O}$	0,46	-0,01	-0,45
Избыток D	-0,55	0,14	0,46
Чатыр-Даг			
T	0,78	0,16	-0,85
Количество осадков	-0,03	-0,23	0,14
$\delta^{18}\text{O}$	0,51	0,06	-0,53
Избыток D	-0,44	0,24	0,32

По результатам анализа можно сделать следующие выводы. Прежде всего, очевидно, что Черное море, являясь одним из четырёх «сильных» источников, и поставляя около 13,7% влаги крымских осадков [см. 2, этот сборник], практически не влияет на годовой ход $\delta^{18}\text{O}$ осадков. Следует отметить также сильную коррелированность (положительную и отрицательную) источников «Суша» и «Средиземное море и Атлантика» с T воздуха. Эта корреляция, однако, не говорит о прямой причинно-следственной связи, но фиксирует зависимость обоих факторов от сезонности. Изотопные характеристики атмосферных осадков ($\delta^{18}\text{O}$ и избыток D) также показывают значимую корреляцию с источниками влаги. Коэффициенты корреляции имеют противоположные знаки, что отражает доминирующую роль этих источников, «сменяющих» друг друга при смене времени года. При этом смена источников не приводит к систематическому изменению количества осадков (низкие коэффициенты корреляции).

Таким образом, по результатам анализа корреляции, изотопный состав атмосферных осадков показывает связь с температурой воздуха и с источниками влаги. Общеизвестно, что T воздуха является одним из основных факторов, влияющих на изотопный состав атмосферных осадков. Поэтому, разделить влияние T воздуха и смены источника на $\delta^{18}\text{O}$ осадков в Крыму не представляется возможным. С другой стороны, избыток D в атмосферных осадках не зависит от температуры в месте их выпадения, но определяется, в первую очередь, относительной влажностью источника [4]. В Крыму наибольшие значения избытка D приурочены к холодному времени года, когда доминирует средиземноморско-атлантический источник влаги. При этом нельзя исключить влияния на этот параметр и локальных сезонных факторов, таких, как испарительное обогащение падающих капель под основанием облака (летний эффект, приводит к уменьшению избытка D и «утяжелению» $\delta^{18}\text{O}$), а также выпадение твёрдых осадков (зимний эффект, приводит к увеличению избытка D и «облегчению» $\delta^{18}\text{O}$).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета министров Республики Крым в рамках научного проекта № 18-45-910007.

Литература

1. Вель И.П. Климатический атлас Крыма. – Симферополь: Таврия-плюс, 2000. – 119 с.
2. Дублянский Ю.В., Лангхамер Л., Шпётль К. Откуда родом крымский дождь? Этот сборник.
3. IAEA/GNIP precipitation sampling guide (V2.02 September 2014). URL: http://www.naweb.iaea.org/napc/ih/documents/other/gnip_manual_v2.02_en_hq.pdf
4. Pfahl S., Sodemann H. What controls deuterium excess in global precipitation? // Clim. Past. – 10, 2014. – P. 771–781.
5. Poage, M. A., Chamberlain, C. P. Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: Considerations for studies of paleoelevation change // American Journal of Science. – 301, 2001. – P. 1-15.

УДК: 556, 551.5

ОТКУДА РОДОМ КРЫМСКИЙ ДОЖДЬ?

Дублянский Ю.В., Лангхамер Л., Шпётль К.

Инсбрукский университет, Инсбрук, Австрия; yuri.dublyansky@uibk.ac.at

Аннотация: Представлены результаты реконструкции обратных траекторий и источников влаги, выпадающей в виде осадков на Крымском полуострове в период 1976-2017 гг. Для реконструкции использовалась лагранжева траекторная модель LAGRANTO и база данных ERA-Interim. Около 49 % влаги крымских осадков по-прежнему за счет переиспарения с окружающей суши, тогда как Средиземное море, Черное море и Атлантический океан поставляют 15,3, 14,4 и 13,7 %, соответственно.

Ключевые слова: атмосферные осадки, влагоперенос, лагранжево моделирование.

WHERE IS CRIMEAN RAIN FROM?

Dublyansky Y., Langhamer L., Spötl C.

Leopold Franzens Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria;

yuri.dublyansky@uibk.ac.at

Abstract: Reconstruction of back trajectories and detection of moisture sources for precipitating on the Crimean peninsula in 1976-2017 was made using Lagrangian model LAGRANTO and ERA-Interim database. Some 49 % of precipitation represent “recycled” moisture from the surrounding land. Mediterranean Sea, Northern Atlantic and Black Sea contribute respectively 15,3, 14,4 and 13,7 %.

Key words: atmospheric precipitation, moisture transport, Lagrangian modeling.

Для того, чтобы интерпретировать результаты изотопных гидрогеологических исследований, необходимы знания об изотопном составе атмосферных осадков, питающих подземные воды. Как правило, такие знания получаются путём долгосрочного (как минимум, несколько лет) опробования осадков, проводимого по методике GNIP (Global Network on Isotopes in Precipitation). На следующем этапе эмпирические данные должны интерпретироваться для того, чтобы выявить основные факторы, контролирующие изотопный состав осадков. Среди этих факторов наиболее важными обычно считаются температура и количество выпадающих осадков; кроме того играют роль источник (поверхность, «поставляющая» влагу в атмосферу за счет испарения), и процессы, происходящие на пути переноса влаги от источника к исследуемому региону.

Интерпретация, обычно, не представляет сложности для регионов с простой «конфигурацией», к примеру, находящихся на пути преобладающих ветров, при наличии одного доминирующего источника влаги. В этом отношении Крымский полуостров – сложный объект. Он окружен водными поверхностями Черного и

Азовского морей, подвержен влиянию циклонов, приходящих со Средиземного моря, и лежит в зоне западных ветров, переносящих воздушные массы с Атлантики вглубь Евразии. При этом характер воздухо- (а, значит, и влаго-) переноса изменяются сезонно. Некоторая информация о характере атмосферной циркуляции и происхождении атмосферных осадков в Крыму приведена в справочной литературе [1, 2]. Вопросы разобраны на довольно общем, качественном уровне.

В настоящем проекте ставилась задача выявления регионов, являющихся источниками влаги, выпадающей в виде осадков над Крымским полуостровом. Была использована лагранжева траекторная модель LAGRANTO [3]. Модель реконструирует траектории воздушных частиц, оценивает изменение их влагосодержания (последнее может увеличиваться за счет испарения с земной поверхности или уменьшаться за счет выпадения осадков) и рассчитывает их долю в сумме осадков на целевой площади.

Для расчетов использовалась база данных ERA-Interim международного центра анализа метеорологической информации European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Параметры, использованные для моделирования, включают трехмерное поле ветра (u , v , w), удельное влагосодержание q , температуру T , давление у поверхности земли p и толщину пограничного слоя атмосферы h_{BL} . Данные ERA-Interim имеют горизонтальное пространственное разрешение $0,75^\circ$, разрешение по времени 6 часов, и представлены на 60 модельных сигма-уровнях от поверхности до 0,1 гПа. Алгоритм действия модели проиллюстрирован на рис. 1.

Следует иметь в виду некоторые принципиальные ограничения модели. (1) Данная методика позволяет идентифицировать 51 % источников влаги, выпадающей в виде осадков в целевом районе. Из оставшихся 49 %, 5 % присутствуют в атмосфере в начальной точке траектории, и еще 44 % связаны с атмосферой над планетарным пограничным слоем. Происхождение этой влаги однозначно определить невозможно (хотя некоторые соображения по этому вопросу могут быть высказаны). (2) Пространственное разрешение модели не позволяет учитывать локальные эффекты, влияющие на выпадение осадков, к примеру, орографический эффект. Таким образом, влияние локальных эффектов на режим осадков крымских гор – не учитывается.

В модели для Крыма, было использовано 6 стартовых точек (узлов), расположенных между $44,25^\circ$ – $45,75^\circ$ с.ш. и $33,75^\circ$ – $34,50^\circ$ в.д. (рис. 2). Для каждого узла рассчитываемые траектории начинались на 11 уровнях, равномерно распределённых от земной поверхности до 500 гПа. С временным шагом в 6 часов, рассчитывались 66 траекторий на 15 суток назад. Из массива полученных траекторий для дальнейших расчетов отбирались только те, которые приводили к выпадению осадков над целевой территорией. К этим траекториям применялась техника определения источников влаги, схематически показанная на рис. 1.

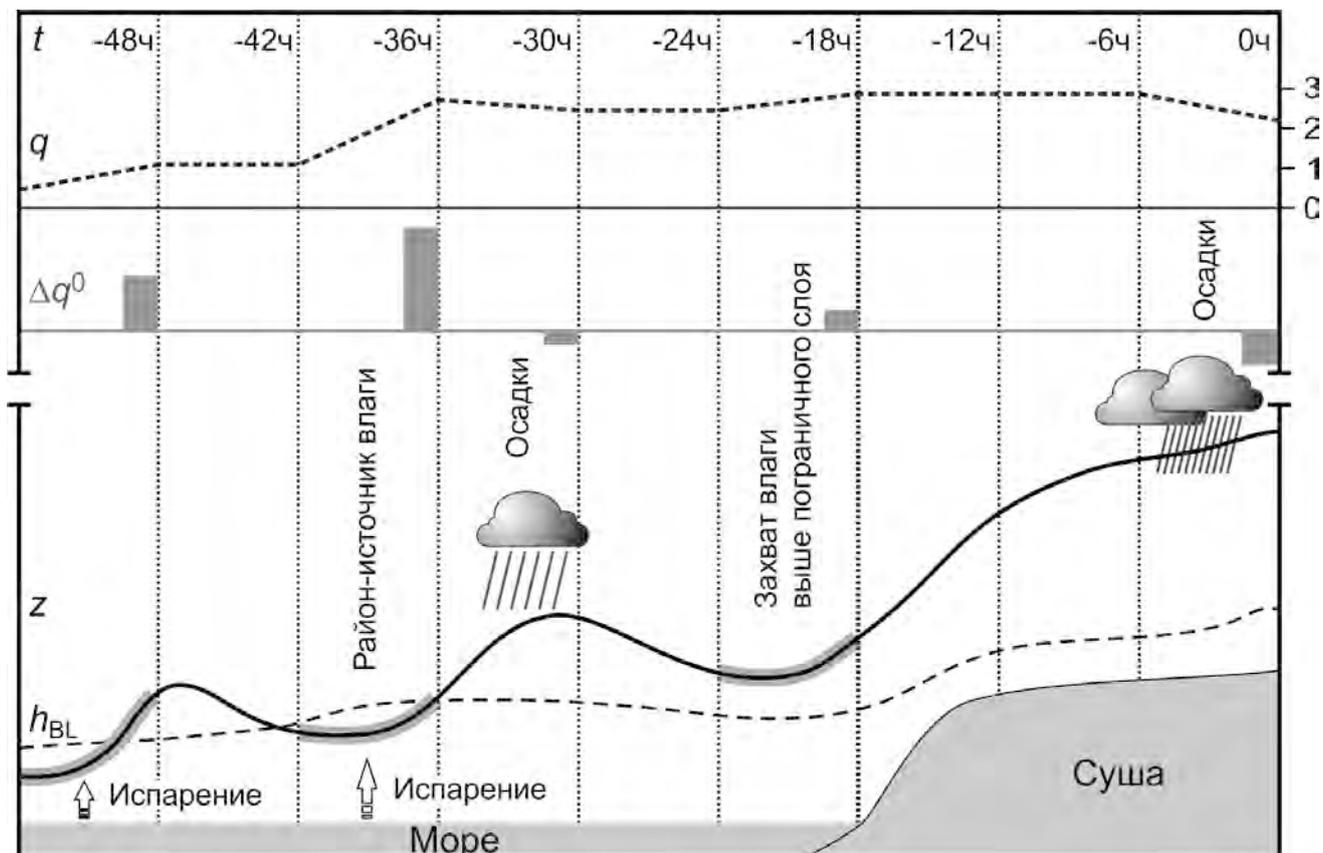


Рис.1. Схема обратного расчета на 48 часов траектории воздушной частицы, принёсшей влагу на сушу. Показаны удельное влагосодержание (q), его изменение за предыдущие 6 часов (Δq) и толщина пограничного слоя атмосферы (h_{BL}). (Взято с изменениями из [3]).

Источники, поставлявшие влагу для осадков в Крыму (среднее за 38 лет с 1979 по 2017 гг.), показаны на рис. 3. Заливка разной интенсивности показывает средний поток влаги в мм за месяц с единицы площади со стороны, равной $0,75^\circ$. По обобщающим результатам, показанным на рис. 3, можно сделать несколько важных наблюдений. (1) Абрис территории, поставляющей влагу, асимметричен, и вытянут к западу. Это говорит о том, что имеет место значительный западный влагоперенос (с Атлантики). (2) Интенсивность поставки влаги с территорий, окружающих Крым значительно превышает интенсивность удалённых источников (к примеру, северной Атлантики). (3) Влага крымских осадков поступает в атмосферу не только с водных поверхностей морей и океана, но и с окружающей Крым суши (Малоазиатское нагорье, Балканы, южная Украина, Кавказ). В этом случае, речь идёт о «рисайклинге» – испарении и эвапотранспирации осадков, ранее выпавших на суше.

Для того, чтобы уточнить количественную роль различных источников в питании осадков Крыма, вся зона, поставляющая влагу, была разбита на несколько дискретных «источников». В качестве таковых были выделены акватории Чёрного, Средиземного, Азовского, Каспийского и Балтийского морей, а также часть акватории Атлантического океана. Как отдельный источник была выделена территория суши (поставляющая влагу по механизму рисайклинга). Доля каждого источ-

ника определялась путем интегрирования потока влаги по площади источника. Полученные данные позволяют делать оценки по различным временным интервалам, к примеру, по годам, временам года и даже по месяцам.

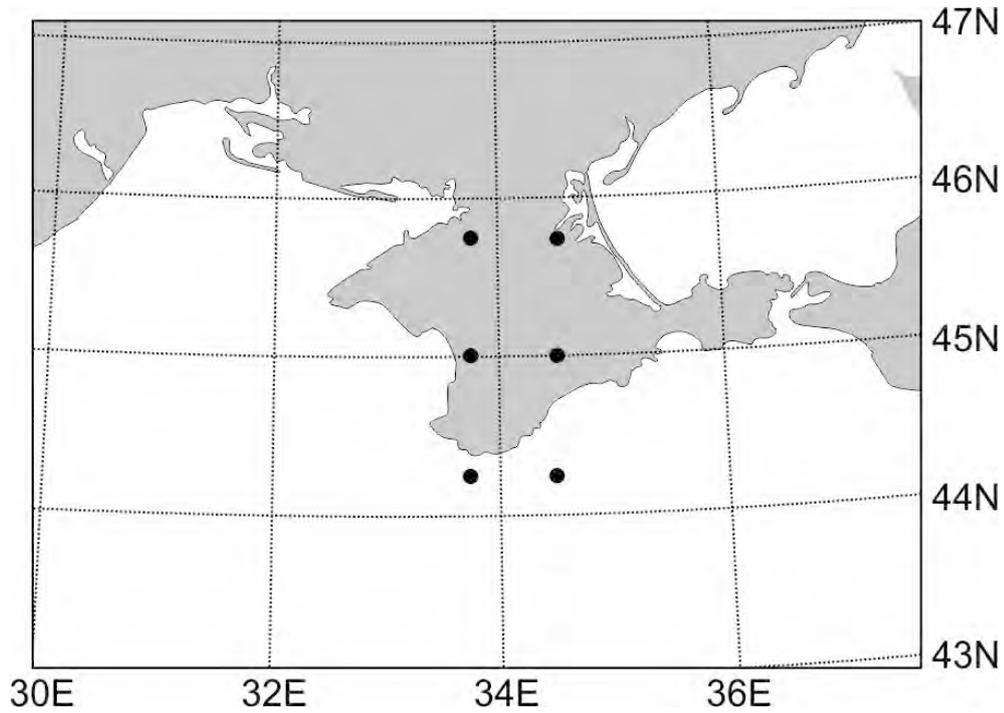


Рис.2. Стартовые точки модели в Крыму.

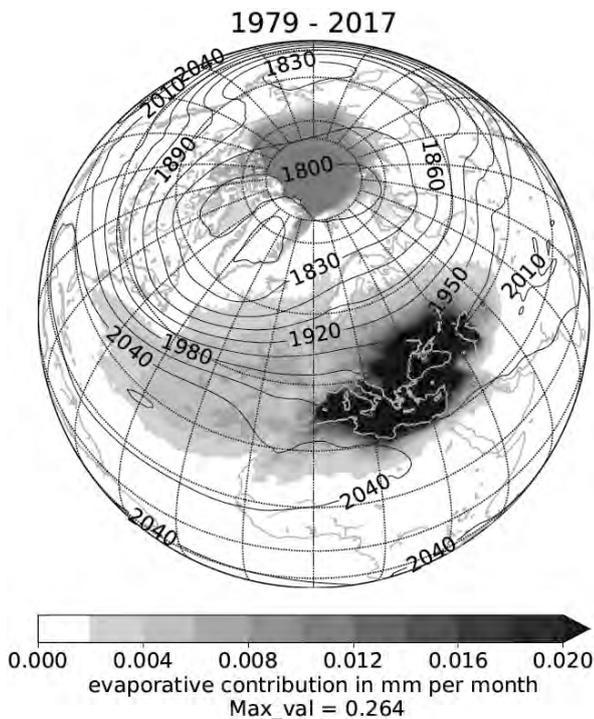
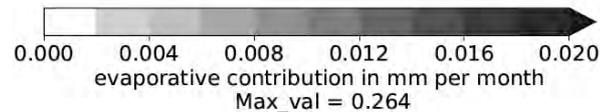


Рис.3. Пространственное распределение потока испаряющейся влаги, выпадающей в виде осадков в Крыму (мм в месяц с площади $0,75^\circ \times 0,75^\circ$; среднее за последние 38 лет). Изолинии с цифрами показывают геопотенциальную высоту 800 гПа м над уровнем земной поверхности. Обратите внимание на нелинейную шкалу полутоновой заливки – наиболее темная заливка соответствует 0,02 мм в месяц, тогда как максимальные полученные значения – 0,264 мм в месяц.



По результатам оценок, источники влаги можно разделить на три группы. Первая группа – «супер источник» – включает окружающую Крым сушу. Она поставляет около 49 % крымских осадков. Вторая группа – «сильные источники» – включает Средиземное море (15,3 %), Черное море (14,4 %) и Атлантический океан (13,7 %). Совместно с сушей, эти три источника ответственны, приблизительно, за 92 % влаги осадков Крыма. В третью

группу – «слабые источники» – входят Азовское, Каспийское и Балтийское моря. Вклад каждого из них не превышает 3 %.

Помесячный анализ для 2010-2015 гг. показал хорошо выраженную сезонность. Поступление влаги с окружающей суши имеет максимум в летние месяцы, достигая 70 %, и минимум – зимой. При этом, даже в зимние месяцы, доля влаги, поступающей с суши не опускается ниже 22 %. Поступление влаги с Атлантики и Средиземного моря, напротив, имеет максимум в холодное время года. Летом доля влаги поступающей из этих источников снижается, практически, до нуля. Поступление влаги с поверхности Черного моря не имеет четко выраженного сезонного хода, но, как правило, оно несколько выше в тёплое время года.

Долговременный ряд за период с 1967 по 2017 г. не показывает статистически значимых трендов во вкладах различных источников в питание атмосферных осадков Крыма. Это говорит о том, что, несмотря на происходящие в последнее столетие глобальные изменения температуры и климата в целом, следов существенной перестройки атмосферной циркуляции и влагопереноса в этой части северного полушария пока не наблюдается.

Литература

1. Ведь И.П. Климатический атлас Крыма. – Симферополь: Таврия-плюс, 2000. –119 с.
2. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма / Логвинов К.Т., Барабаш М.Б. (ред.). – Л: Гидрометеоздат, 1982. – 315 с.
3. Sodemann H., Schwierz C., Wernli H.. Interannual variability of Greenland winter precipitation sources: Lagrangian moisture diagnostic and North Atlantic Oscillation influence // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 113 (D3). – 2008.

УДК: 551.44

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЫ

Мавлюдов Б.Р.¹, Кудерина Т.М.¹, Грабенко Е.А.², Медведев А.А.¹, Эмба Я.А.³

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия; bulatrm@bk.ru

² Майкопский государственный университет, Майкоп, Россия

³ Институт экологии АНА, Сухум, Республика Абхазия

Аннотация: Представлены результаты изучения климатической системы Новоафонской пещеры в Абхазии в 2013-2017 гг. Сейчас пещера представляет собой климатическую систему со входами, расположенными на разных высотных уровнях с положительными и отрицательными температурными аномалиями.

Ключевые слова: климат Новоафонской пещеры, вентиляция, температурные аномалии.

CLIMATIC SYSTEM OF NOVOAFONSKAYA CAVE

Mavlyudov B.R.¹, Kuderina T.M.¹, Grabenko E.A.², Medvedev A.A.¹, Ekba Ya.A.³

¹ *Institute of geography RAS, Moscow, Russia; bulatrm@bk.ru*

² *Maykop state university, Maykop, Russia*

³ *Institute of ecology ASA, Sukhum, Republic of Abkhazia*

Abstract: *Results of investigation in 2013-2017 in Novoafonskaya Cave in Abkhazia are presented. Now cave presented climatic system with entrances located on different elevations with positive and negative temperature anomalies.*

Keywords: *climate of Novoafonskaya Cave, ventilation, anomalies of temperatures.*

Новоафонская пещера расположена в Республике Абхазия вблизи берега Черного моря в черте города Новый Афон. Климатическая система Новоафонской пещеры до тех пор, пока она не была оборудована для туристов (начало эксплуатации – 1975 г.), была довольно простой. Это ступенчатая карстовая шахта глубиной около 140 м, которая открывается в системы крупных залов, то есть нисходящая мешкообразная полость с одним входом [3]. Из-за глубины расположения системы пещерных залов влияние внешнего климата на климат в пещере было минимальным. На температурный режим в пещере, вернее, прежде всего, в зале Анакопия могли оказывать в это время поступления вод с поверхности через вертикальные каналы и через входную шахту. В зависимости от сезона года они могли иметь обогревающее или охлаждающее воздействие на климат пещеры. Вторым элементом воздействия на климат пещеры было гниение органического материала, заносимого в пещеру. При этом выделялось дополнительное тепло и углекислый газ. Третьим, и, наверное, самым мощным агентом влияния на климат в пещере, несомненно, были паводковые воды, которые вызывали повышение уровня воды в озерах пещеры. При этом озера нередко занимали большую площадь в нижних залах пещеры, иногда перекрывая до половины их проективной площади. А если учесть, что паводковые воды поступали из верховий карстового массива Гумишха-Псырцха и имели более низкую температуру, чем пещерная полость, то становится понятным существенное влияние паводковых озер на температурный и влажностный режим пещеры. Перед началом эксплуатации пещеры в ней проводились метеорологические наблюдения [4-6]. Метеорологические наблюдения в пещере продолжились и позже [7, 8].

Следует отметить, что с начала оборудования пещеры в 1970-х гг. ее климатическая система существенно изменилась. Сначала, с момента сооружения транспортного туннеля, зал Анакопия (и в несколько меньшей степени вся остальная часть пещеры) превратился в участок пещеры с 2 входами, расположенными на 2 высотных уровнях (перепад высот около 150 м). При этом нижним входом было начало транспортного туннеля, а верхним – естественная шахта. Для предотвращения циркуляции воздуха и возврату к естественному состоянию в пещере были сооружены дополнительные двери во входных туннелях, позволяющие шлюзовать туристические группы, предотвращая движение воздуха в пещере. В

противном случае, происходило нагнетание воздуха в полость при движении поезда от административного здания к первой станции, и отсасывание воздуха из пещеры при движении поезда в обратном направлении. Массивные двери в зал Анакопия были сделаны также для того, чтобы предотвращать излив воды в транспортный туннель при высоком подъеме вод в озерах пещеры. Однако установка глухих дверей и шлюзование туристических групп сыграли плохую службу. Когда пещера существовала в естественном состоянии, в ней было мало процессов, приводящих к увеличению концентрации CO_2 в воздухе (за исключением процессов гниения органики, привнесенной в полость водами через естественный вход). С началом туристического освоения пещеры ситуация несколько изменилась. Через замкнутую полость с почти отсутствующей вентиляцией стали проводить сотни тысяч туристов ежегодно. Это привело к повышению концентрации CO_2 в пещере до 1% [1]. При этом было не ясно, как с этой проблемой можно бороться. Однако проблема решилась сама собой, когда в пещеру были пробиты водоотводные туннели, чтобы избежать затопления пешеходной тропы в пещере (начали функционировать в 1989 г.). Несмотря на то, что на выходе водоотводного туннеля была установлена ветрозащита, она не являлась полностью герметичной. В результате в пещере возникла естественная тяга воздуха, которая, собственно, и проветривает пещеру. В дополнение к тяге воздуха через щели ветрозащиты воздух в водоотводный туннель поступает из бокового транспортного туннеля, сообщение которого с водоотводным туннелем перекрыто не полностью.

Поэтому в настоящее время кроме естественного входа в пещере имеется еще два искусственных входа: входной транспортный туннель, по которому циркулируют поезда, доставляющие туристов, который имеет связь с двумя точками пещеры – залами Анакопия и Апсны, расположенными в противоположных частях пещеры, и дренажный водоотводный туннель, который имеет связь с тремя точками пещеры: Голубым озером, залом Махаджиров и котловиной озера Нартаа. Воды из водоотводного туннеля сливаются в русло реки Маниаквара неподалеку от входа в железнодорожный туннель. При этом два искусственных входа (в водоотводный и экскурсионный туннели) расположены примерно на одном уровне (примерно на 170 и 150 м ниже отметки естественного входа). Все это превратило пещеру с ранее минимальной циркуляцией воздуха в пещерную систему с динамической циркуляцией воздуха с входами, расположенными на разных высотных уровнях [3]. В результате, в пещере возникла печная тяга воздуха, характерная для такого типа пещер: зимой тяга воздуха направлена от нижнего входа к верхнему, а летом – от верхнего входа к нижнему. В дополнение ко всему, в дневное время эту систему возникшей естественной тяги воздуха нарушает движением поездов во входном туннеле, которые создают при своем движении поршневой эффект, который вдавливают воздух в пещеру при движении поезда внутрь и высасывает воздух из пещеры при его движении к выходу. Несмотря на защитные двери в обоих туннелях, соединяющих транспортный туннель с пещерой, воздух из транспортного туннеля в нее попадает, что выражается в усилении или блокировании тяги из естественного входа при движении поезда. Особенно четко это видно при выходе растянувшихся туристических групп из зала Апсны, когда получается, что обе двери со станции в пещеру остаются открытыми.

Особняком стоит тяга через водоотводный туннель. Несмотря на то, что на выходе водоотводного туннеля располагается ветрозащита, закрывающая все сечение туннеля, открывающаяся только при переполнении пещерных озер и возрастании стока из них через водоотводный туннель, она не герметична и позволяет воздуху входить и выходить из пещеры. Без сомнения, наличие ветрозащиты в конце водоотводного туннеля существенно уменьшает тягу воздуха в пещере. Однако обследование выходного участка водоотводного туннеля в сентябре 2015 г. показало, что не только сама ветрозащита не герметична, но и то, что часть воздушного потока проникает в пещеру или вытекает из нее через не заложённое окно в западной стенке туннеля, которое ведет в короткий транспортный туннель, являющийся ответвлением от основного туннеля и соединяющийся с ним выше ветрозащиты. Наши измерения скорости ветра на входе в водоотводный туннель в зале Нартаа в сентябре 2015 г. показали, что тяга воздуха через туннель при наличии открытой и закрытой секции ветрозащиты не изменилась.

Наличие переключающейся печной тяги в пещере обуславливает возникновение в ней участков холодной и теплой температурных аномалий [2, 3], то есть участков пещеры, на которых температура воздуха и пород, соответственно, ниже и выше средней температуры в пещере. Действительно, во входном колодце пещеры возникает теплая температурная аномалия. При этом высокие температуры воздуха проникают и в залы пещеры. Например, в сентябре 2015 г. на выходе старого входа в зал Анакопия была измерена температура воздуха $18,2^{\circ}\text{C}$ при том, что обычная температура воздуха в пещере на уровне пешеходной тропы составляет $14-15^{\circ}\text{C}$. И это происходит на глубине 140 м от поверхности земли. Измерения температуры воздуха, проведенные тогда же в водоотводном туннеле, показали температуру воздуха $12,8^{\circ}\text{C}$, что ниже обычной температуры воздуха в пещере при том, что этот канал обогревался теплым пещерным воздухом в течение всего лета. По величине отклонения температуры воздуха в пределах зоны температурной аномалии от средней температуры по пещере можно говорить о степени проветривания пещеры.

Следует добавить, что на климат пещеры не могут не оказывать влияние экскурсанты, которые в больших количествах посещают пещеру. В 1980-х гг. количество экскурсантов в пещере достигало более 1 млн. человек в год (в среднем около 3000 человек в день). В настоящее время количество экскурсантов упало примерно в три раза, то есть в среднем до 1000 человек в день. Каждый экскурсант выделяет тепло и увеличивает количество углекислого газа в атмосфере пещеры. Именно повышение концентрации углекислого газа в пещере вызвала проблемы со здоровьем экскурсоводов в первые годы эксплуатации пещеры в качестве экскурсионного объекта. Однако после сооружения водоотводного туннеля, когда в пещере возникла устойчивая тяга воздуха, ситуация с содержанием углекислого газа в пещере нормализовалась. Не следует забывать, также, что время от времени в пещере производится помывка пешеходных дорожек водой, которая поступает по трубам, проложенным по всей пещере. Это нарушает естественное состояние увлажненности в пещере, нередко повышая влажность там, где ранее (до оборудования пещеры для посещения туристами) количество поступающей в полость воды было ограничено. Бесспорно, все эти особенности оказывают влияние на кли-

матическую систему Новоафонской пещеры. Таким образом, несмотря на то, что сооружение транспортного и водоотводного туннелей существенно изменили систему циркуляции воздуха в пещере, это привело не только к негативным последствиям для пещеры (в частности, к высыханию некоторых участков), но, что удивительно, – к улучшению обслуживания туристов в пещере.

Таким образом, сооружение транспортного и водоотводного туннелей оказало влияние на температурном поле пещеры. Во-первых, сооружение водоотводного туннеля сказалось на том, что площадь озер, заполняющихся и возникающих в пещере в паводки, уменьшилась. Это, без сомнения, привело к тому, что пещера стала меньше охлаждаться паводковыми водами. А те участки пещеры, которые ранее располагались на заливаемых участках, а теперь находятся выше устьев водоотводного туннеля, стали высыхать. Это также говорит о том, что влажность воздуха в пещере на отдельных участках понизилась. Это благоприятствует росту гипсовых корок на стенах пещеры, но на некоторых участках нарушает рост декоративного убранства пещеры – элементов сталактит-сталагмитовой коры. Поэтому в последнее время в пещере перестало быть редкостью встреча сухих сталагмитов, которые потеряли водное питание.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-55-40003.

Литература

1. Дублянский В.Н. Проблемы инженерной спелеологии // Исследование карстовых пещер в целях использования их в качестве экскурсионных объектов. Тезисы докладов. Тбилиси: Мецниереба. 1978. – С. 14-20.
2. Лукин В.С. Температурные аномалии в пещерах Предуралья и критический анализ теорий подземного холода // Пещеры. Пермь, 1965. - Вып. 5(6). – С. 164-172.
3. Мавлюдов Б.Р. Климатические системы пещер // Вопросы физической спелеологии. Междуведомственный сборник. М.: МФТИ, 1994. – С. 6-24.
4. Тинтилозов З.К. Карстовые пещеры Грузии. – Тбилиси: Мецниереба, 1976. – 276 с.
5. Тинтилозов З.К. Новоафонская пещерная система. – Тбилиси: Мецниереба, 1983. – 149 с.
6. Цикаришвили К.Д. Изучение микроклимата Ново-Афонской пещеры // Пещеры Грузии. 1978. - № 7. – С. 17-25.
7. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Ракин В.И., Сергеев В.Н., Дбар Р.С., Экба Я.А. Условия и морфологические особенности кристаллизации гипса в рыхлых отложениях (на примере Новоафонской пещеры, Абхазия) // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. - № 4(48). – С. 46-51.
8. Экба Я.А., Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. – Сочи: Папирус-М-Дизайн. 2007. – 324 с.

УДК: 574

ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЫ ИМЕНИ Г.Ш. СМЫР

Мазина С.Е.^{1,2}, Лащенко Т.Н.^{2,3}, Киселев С.М.³, Козлова Е.В.², Капралова Д.О.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, Россия, Москва; *conophytum@mail.ru*

²Российский университет дружбы народов, Россия, Москва

³ФГБУ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, ФМБА, Россия, Москва

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы изменения микроклимата и углекислого газа в Новоафонской пещере в процессе ее эксплуатации. Обсуждается проблема радононакопления в полости. На основании многолетних исследований описываются основные тенденции распределения углекислого газа, радона и изменения температуры и влажности воздуха в пещере.

Ключевые слова: пещера, радон, микроклимат.

PECULIARITIES OF THE MICROCLIMATE OF THE NOVOAFONSKAYA CAVE NAMED G.SH. SMYR

Masina S.E.^{1,2}, Lashenova T.N.^{2,3}, Kiselev S.M.³, Kozlova E.V.², Kapralova D.O.²

¹Lomonosov Moscow State University, Chemical Faculty, Moscow, Russia; *conophytum@mail.ru*

²RUDN University, Faculty of Ecology, Moscow, Russia,

³State Research Center Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia,

Abstract: The article deals with the issues of changing the microclimate and carbon dioxide in the Novoafonskaya cave in the process of its exploitation. The problem of radon accumulation in the cavity is discussed. Based on many years of research, the main trends in the distribution of carbon dioxide, radon and changes in temperature and humidity in the cave are described.

Key words: cave, radon, microclimate.

Подземная среда значительно отличается от наземных условий, что определяет комплекс эволюционных изменений, характерных для видов троглофилов и троглобионтов. Уникальными объектами с позиции анализа антропогенных изменений являются экскурсионные пещеры. Если для небольших пещер и гротов, доступных еще для древнего человека, антропогенная нагрузка является обычной, то пещерные системы, в силу своей сложной морфологии и труднодоступности, скрытые от человека в течение многих веков, превращенные в экскурсионные объекты, преобразуются значительно и быстро. Такой пещерной системой является Новоафонская пещера имени Г.Ш. Смыр. Открытая в 1961 году, поистине гран-

диозная по своим объемам пещера, стала местом реализации одного из масштабных проектов СССР. Оборудование пещеры сопровождалось значительными строительными работами, в том числе прокладкой входного тоннеля с линией метро, организацией туристического маршрута, включавшего постройку мостов над залами, водоотводных тоннелей, организацию стационарного освещения. Очевидно, что после таких вмешательств в пещерную среду, а также вследствие высокой эксплуатационной нагрузки, пещера начала трансформироваться не только в видовом составе и структуре сообществ, но и в абиотической компоненте.

Проведенные при оборудовании пещеры исследования и последующие наблюдения продемонстрировали стабильность микроклимата пещеры (температура составляла 12-15°C), слабое движение воздуха, высокую относительную влажность воздуха - 96-98%. Концентрация CO₂ повышалась в нижних частях пещеры и достигала в августе 1972 года 0,5% в зале Тбилиси (ныне Апсны). Для нижних частей пещеры, по сравнению с верхними залами, отмечали повышение концентрации радона. Описана тенденция увеличения гамма-фона и ионизации воздуха на участках с обилием натечно-капельных образований и водными потоками, на участках с пониженным движением воздуха, а также в теплый сезон [1].

Начиная с 2004 года в пещере начали проводить систематические наблюдения за параметрами микроклимата и периодические исследования радиационного фона и содержания CO₂. Были сделаны замеры температуры по профилям залов, выявлены участки, где происходили колебания температуры и влажности воздуха, оценено влияние частоты посещений и количества посетителей. Во всех залах пещеры были установлены термохроны. В результате анализа данных, выявлена стабильность температуры в пещере, небольшие колебания отмечены в зоне под естественным входом в пещеру и вдоль экскурсионного маршрута в период посещений. Диапазон изменения значений составлял 7-19°C. Повышение температуры в период экскурсий было локальным и носило временный характер, за счет больших объемов полости температура воздуха быстро восстанавливалась. Отмечены колебания температуры воздуха в пределах ±2°C при изменении температуры водных потоков в непосредственной близости от потоков и около подземных озер. Измерения влажности воздуха в пещере позволили определить участки, на которых влажность воздуха снижена или может периодически снижаться, что критично для сохранения минеральных образований пещеры, диапазон изменения значений относительной влажности воздуха составлял 45%-100%.

Многочисленные измерения концентрации радона в воздухе пещеры продемонстрировали дискретность распределения радона по полости и периодичность его эманации. Наблюдалась постоянные повышенные концентрации радона на участках с мощными глинистыми отложениями, подтверждено накопление радона на участках со сниженными воздушными потоками, выявлены периодические повышения концентрации радона при изменении гидрологического режима пещеры. Большая часть измерений находилась в пределах допустимых значений, однако ряд замеров показал повышение концентрации радона до 1300 Бк/м³, но эти участки расположены далеко за пределами экскурсионных троп. Утверждение, что в нижних залах пещеры, по сравнению с верхними, повышена концентрация радона, подтвердить не удалось – такой вывод возможен при проведении разовых замеров

в основном на участках экскурсионного маршрута, но не при долговременном обследовании залов, особенно за пределами экскурсионной тропы. Однако для того, чтобы оценить среднегодовое значение эквивалентной равновесной объемной *активности радона*, пещера оборудована накопительными дозиметрами.

Повышение температуры воздуха и концентрации CO_2 в пещере за счет потока посетителей коррелируют, также как и их возврат к обычным значениям. Очевидно, что с возрастанием количества посетителей, увеличением численности групп и их частоты, происходит локальное повышение температуры воздуха и содержания CO_2 вблизи экскурсионного маршрута. Скорость возврата к обычным значениям зависит от объемов залов, интенсивности воздушных потоков и сезона, но при существующем режиме посещений, пещера компенсирует оказываемые воздействия.

Количество углекислого газа в воздухе пещеры может повышаться в период паводков. Выявлено отличие эмиссии CO_2 из различных субстратов пещеры, наименьшая эмиссия происходит с поверхности ненарушенных кальцитовых натечных отложений, эмиссия варьирует в зависимости от структуры и плотности известняков и гипсов, возрастает в районе трещиноватых пород и значительно повышается на участках с глинистыми отложениями. Концентрация углекислого газа в пещере непостоянна и меняется на разных участках пещеры в течение суток и в разные сезоны. В начале экскурсионного маршрута в целом содержание CO_2 ниже, но оно меняется по профилю зала и это распределение носит сезонный характер, в осенне-зимний период были отмечены дни с высоким содержанием диоксида углерода на донных участках, которое не связано с экскурсионной нагрузкой.

Таким образом, определена тенденция изменения микроклимата пещеры в процессе ее эксплуатации и выявлены колебания концентрации радона и CO_2 . Необходимо внедрение системы комплексного мониторинга по уточнению основных параметров, влияющих на состояние здоровья работников пещеры и посетителей.

Литература

1. Тинтилозов З.К. Новоафонская пещерная система. - Тбилиси, Из-во "Мецниереба", 1983. - 151 с.

УДК: 551.44

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕЩЕР ЮГО-ВОСТОКА БЕЛОМОРСКО-КУЛОЙСКОГО ПЛАТО

Шаврина Е.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Пинежский», пос. Пинега, Архангельской обл., Россия; elenashavrina@mail.ru

Аннотация: За период наблюдений для пещер юго-востока Беломорско-Кулойского плато выявлены значительные изменения основных динамических параметров. Меняется микроклимат пещер, характер движения водных и воздушных потоков, активность экзогенных геологических процессов, объемы подземных льдов. Различаются сезонные и многолетние тенденции изменений в состоянии подвижных компонентов подземной среды.

Ключевые слова: пещеры, микроклимат, карстовые воды, экзогенные геологические процессы.

DYNAMIC PARAMETERS OF CAVES IN THE IN THE SOUTH-EAST OF THE BELOMOR-KULOI PLATEAU

E.V. Shavrina

Federal State Budgetary Institution 'Pinezhsky Nature Reserve', Pinega, Arkhangelsk Region, Russia; elenashavrina@mail.ru

Abstract: Significant changes in the main dynamic parameters of caves in the south of the Belomor-Kuloi Plateau are detected within the monitoring period. Such changes are observed in cave microclimate, water and air circulation patterns, the rates of exogenous geological processes and the volume of underground ice. Seasonal and long-term trends of changes in mobile components of the underground environment are distinguished.

Key words: caves, microclimate, karst waters, exogenous geological processes.

Район исследований расположен на северо-западе Русской равнины, на юго-востоке Беломорско-Кулойского плато (БКП), где динамические процессы протекают наиболее активно. Развитие карста здесь определяется широким распространением карстующихся пород, выходящих на поверхность или покрытых мало-мощным чехлом четвертичных осадков, значительной тектонической неоднородностью, нетипичной для платформенных условий, циркуляцией пресных агрессивных вод. Под воздействием серии материковых оледенений здесь сформировался уникальный комплекс карстового рельефа, отличающийся разнообразием и

высокой плотностью поверхностных и подземных форм карста, активностью современного развития карстового процесса [2].

К началу 2018 г. в Архангельской области открыто около 480 пещер, протяженностью свыше 130 км, при этом более 175 пещер суммарной протяженностью свыше 77 км находятся на юго-востоке БКП. Из 27 пещер области, имеющих длину более 1 км, 19 найдены на юго-востоке БКП.

Большинство пещер развиты в толще гипсов и ангидритов сульфатной субформации сакмарского яруса нижней перми [2] и представляют собой горизонтальные и субгоризонтальные разноуровневые системы, что свидетельствует о заложении и развитии пещер в зонах горизонтальной и сифонной циркуляции карстовых вод. Преобладание сульфатных отложений приводит к значительным скоростям развития карста и других экзогенных геологических процессов (ЭГП) в изолированных карстовых массивах.

Мониторинговые наблюдения проводятся в пещерах Пинежского заповедника и его охранной зоны для различных подземных объектов более 30 лет. В ряде пещер – Юбилейная (С-26), Ледяная Волна, Китеж (140) – работы были прекращены из-за высокой обвальности или видоизменены (Голубинский Провал) из-за повышенной антропогенной нагрузки.

В настоящее время наблюдения проводятся в пещерах Певческая Эстрада (Г-1), Большая Голубинская и включают комплекс микроклиматических наблюдений – определение динамики температурного поля пещер (максимальные, минимальные и срочные), влажности и направления движения воздуха, гидрологических и гидрохимических – уровни, расходы, температура и минерализация карстовых вод, а также гляциологических наблюдений на постоянных пикетах и створах. Кроме того, изучается активность ЭГП. Дополнительные наблюдения проводятся в контрольных пещерах, они направлены на уточнение общих тенденций и закономерностей изменений подземной среды. Наблюдения проводятся 1 раз месяц в мониторинговых пещерах и 1-2 раза в год в контрольных. Они ведутся по рекомендациям, изложенным в «Методике изучения карста» [3], «Методике микроклиматических наблюдений...» [4], «Проблемах изучения карстовых полостей...» [1] с авторскими дополнениями.

Пещеры представляют собой разомкнутые системы с высоким уровнем активности происходящих в них обменных процессов. Измерения состояния подземного пространства связаны, преимущественно, с внешними по отношению к подземной среде факторами: температурой воздуха, скоростью, дебитом и температурой вод, поступающих в карстовые массивы. При неглубоком залегании пещер (до 10-30 м) и амплитуде паводково-меженных уровней карстовых вод до 2-4 м, они находятся в режиме постоянной саморегуляции. По сравнению с данными конца 90-х годов XX века, отмечаются значительные изменения ряда режимообразующих факторов, определяющих состояние подземной среды. Рост среднесезонной температуры воздуха на поверхности с 2007 по 2017 годы увеличился по данным Пинежской ГМС 1°C (с 0,1 до 1,5°C), по сравнению с предыдущим десятилетием. Среднесезонное количество осадков сократилось, соответственно, с 584,5 до 570,6 мм. Но определяющее значение имеет зависимость пещер от ано-

мальных климатических факторов: ливневых дождей, внесезонных снегопадов, резких похолоданий в период весенних паводков и большая продолжительность паводковых периодов.

Анализ среднемноголетних температурных рядов пещер до 2008 года показал общую тенденцию к снижению температур воздуха в летний период. Значения зимних температур оставались, как правило, постоянными. Разрыв со среднегодовыми температурами воздуха на поверхности для различных зон пещер был от 0,5 до 2°С. Колебания относительной влажности воздуха составляли от 85 до 100 % в зимний период, а ее паводковые и летние значения близки к 100 %.

При помощи температурных логгеров для большинства зон наблюдения мониторинговых пещер удалось получить непрерывные температурные ряды и среднегодовые значения температуры воздуха (рис. 1). В целом, в пещере отмечается рост среднегодовых температур на 0,1-0,3°С по сравнению с предыдущим периодом. К сожалению, данные логгеров, которыми производятся замеры с интервалом 3 часа, трудно сопоставимы с данными, получавшимися с максимальных и минимальных термометров раз в месяц. Важным моментом является увеличение длительности периода положительных температур в пещерах при их уменьшении в годы без выраженных дождевых паводков.

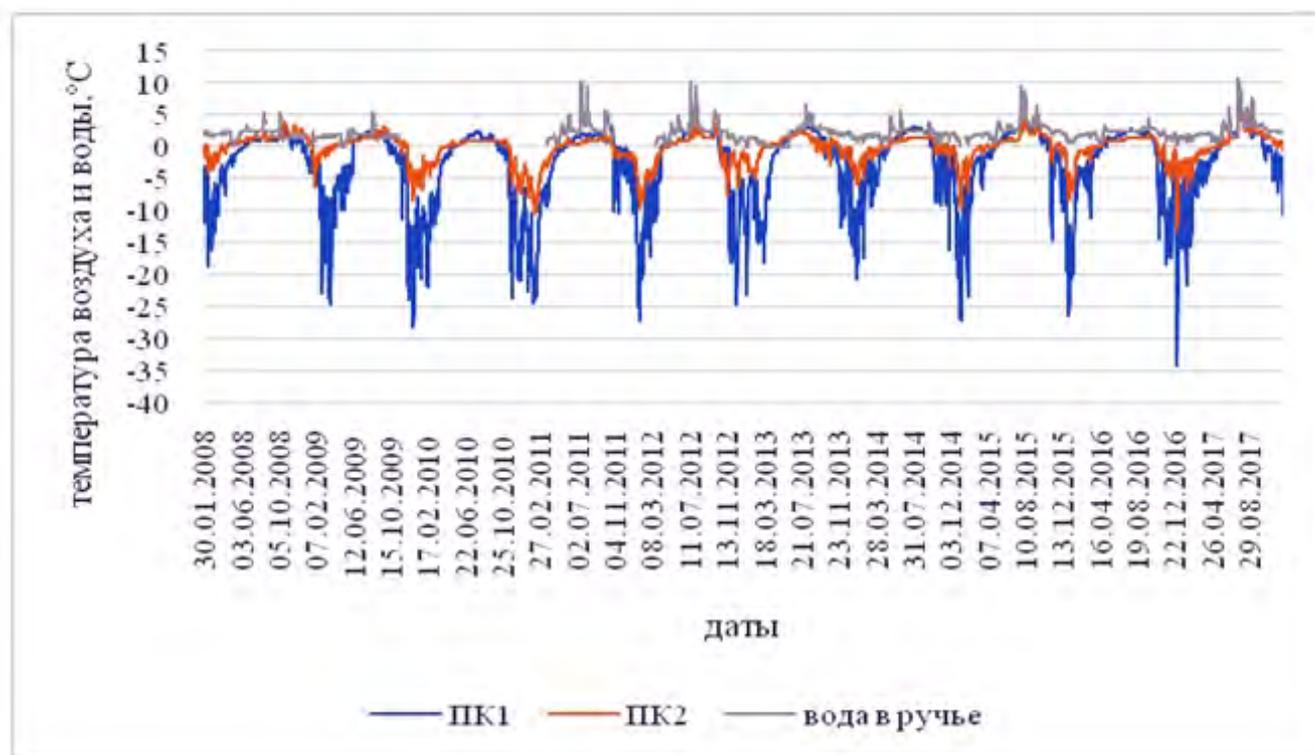


Рис.1. Динамика среднесуточных температур пещеры Певческая Эстрада (Г-1) в 2008-2017 гг.

Пещеры концентрируют в себе более половины стока карстовых вод территории. Большинство значительных пещер являются фрагментами спелеоводонесных систем, в них действуют постоянные ручьи и реки либо паводковая разгрузка крупных временных потоков. В ряде из них имеются водопады, действуют источ-

ники, разгружающие подвешенные воды, реже встречаются подземные озера. Меженно-паводковые уровни подземных потоков колеблются от 1,5 до 3,5 м; их расходы меняются от 10 до 5000 л/с; минерализация – от 2,5 (межень) до 0,4 г/л (паводок); температура воды – от 0 до 11°C (максимум во время летних дождевых паводков).

Выявлена прямая зависимость температуры воздуха от паводковых понижений температуры воды в период весеннего снеготаяния и от ее повышений во время летних дождевых паводков. Синхронный рост температуры воды и воздуха отмечается уже в день выпадения летних ливневых дождей, что говорит о высоких скоростях подземных вод.

Ледяные отложения пещер представлены пещерными льдами всех генетических классов, разнообразными по морфологическим проявлениям. Особенности пространственно-временного распределения льдов пещер связаны с морфологией, аэро- и гидродинамикой полостей, климатическими изменениями современного периода. Типичными формами для северных пещер являются подземные ледники наледи и жильные ледяные тела, льды-цементы, покровные льды и ледяные коры, сталактиты, сталагмиты и сталагматы, ледяные кристаллы. Уникальные формы – ледяные сифоны развиваются на постоянных подземных ручьях, а экраны в зоне фронтального разбрызгивания водопадов и капельных источников (рис.2). Минерализация льдов пещер сульфатная кальциевая, от первых десятков до первых тысяч мг/л. В период наблюдений отмечено сокращение сезонных и многолетних льдов, смещение зон развития ледяных образований. Связано это с миграцией подвешенных водотоков и с изменениями температур воздуха на поверхности и в пещерах. Основные факторы воздействия на сохранность льдов пещер: температурные, аэро- и гидродинамические. Подземные льды являются индикатором состояния подземной среды. Продолжается сокращение объемов многолетних льдов и сроков развития сезонного оледенения в сравнении с периодом до середины 90-х гг. XX века.

Пещеры рассматриваемой территории отличаются высокой скоростью изменения подземного рельефа, связанной с воздействием ряда экзогенных геологических процессов. Денудационные процессы в пещерах проявляются под воздействием сил гравитации, а также механической, химической и тепловой энергии водных потоков. За период наблюдений в них выявлено более 400 проявлений экзогенных процессов, преимущественно гравитационных, карстово-суффозионных и суффозионно-карстовых. Суммарный объем нарушений превышает 9500 м³.

Как и в поверхностном карсте, наиболее значительны обвальнo-осыпные проявления, связанные с гравитацией и термогравитацией, сопровождающейся закарстованием пород по трещинным зонам, а также с таянием многолетних льдов-цементов, крупных пластовых и жильных ледяных тел и многолетних сталагматов, повышающих устойчивость пород. Воздействие водных потоков, разрушающих льды в годы высоких паводков, приводит к полному или частичному исчезновению ледяных образований до уровня подъема воды (рис.2). Как и на поверхности, в объемном и количественном отношении гравитационные процессы преобладают и в привходовых зонах, и внутри пещер [6].



Рис.2. Висячие льды при остановке паводка, май 2014 г.

За период наблюдений для пещер юго-востока БКП выявлены значительные изменения динамических параметров. Исследования показали, что подземная среда значительно более изменчива, чем кажется на первый взгляд. Меняется микроклимат пещер, характер движения водных и воздушных потоков, конфигурация морфологических элементов залов и ходов за счет развития ЭГП, а также роста либо таяния подземных льдов, размыва и переотложения вторичного заполнителя. Изменения микроклимата пещер и динамики пещерных льдов являются четкими индикаторами трендов климатических вариаций современного периода.

Литература

1. Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. – Л.: Наука, 1977. – 182 с.
2. Малков В.Н., Гуркало Е.И., Монахова Л.Б., Шаврина Е.В. и др. Карст и пещеры Пинежья. – М.: Ассоциация «Экост». 2001. – 208 с.
3. Методика изучения карста. – Пермь, 1963. – Вып.1-9.
4. Методика микроклиматических наблюдений в естественных и искусственных полостях в трещиноватых закарстованных породах и во льдах. – Пермь, 1982. – 8 с.
5. Методические рекомендации по изучению поверхностных и подземных вод в карстовых районах. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 150 с.
6. Шаврина Е.В. Взаимодействие динамических компонентов в подземном и поверхностном карсте юго-востока Беломорско-Кулойского плато // Карстовые системы севера в меняющейся среде. Материалы международной конференции, посвященной 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова. – М., ООО «ФЭД+», 2011. – С. 113-117.

УДК:551.44

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия;
NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

Аннотация: *Приводятся результаты изучения водоносного комплекса верхнеюрских отложений, включающих в себя средневерхнеоксфордско-кимериджский водоносный горизонт, нижнетитонский водоупорный горизонт и верхнетитонский водоносный горизонт. Воды напорные пластово-трещинные и трещинно-карстовые, пресные, гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые, реже гидрокарбонатные кальциево-натриевые и натриево-кальциевые с минерализацией преимущественно до 1 г/дм³ и ниже. Они обладают наивысшими качественными характеристиками для целей питьевого водоснабжения в пределах Крымского полуострова.*

Ключевые слова: *подземные воды, водоносный комплекс верхнеюрских отложений, питьевое водоснабжение, качество подземных вод, Крымский полуостров.*

HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF THE UPPER-JURASSIC DEPOSITS OF THE SOUTH-WESTERN REGIONS OF THE CRIMEAN PENINSULA

Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F.

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russia;
NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

Abstract: *Results of the studies of water-bearing complex in the Upper Jurassic sediments are presented. The sediments include Middle and Upper Oxfordian-Kimmeridgian water-bearing horizon, Lower Tithonian waterproof horizon, and Upper Tithonian water-bearing horizon. Pressure waters are stratal-fissure and fissure-karst, fresh, calcium, calcium-magnesium hydrocarbonate, more rarely calcium-sodium and sodium-calcium hydrocarbonate with mineralization mainly up to 1 g/dm³ and below. These waters possess the highest characteristics for drinking water supply within the boundaries of the Crimean peninsula.*

Key words: *groundwater, aquiferous complex of Upper Jurassic deposits, drinking water supply, groundwater quality, Crimean peninsula.*

В последние годы все больше исследований в мире проводится по оценке ресурсной базы, проблемам качества и загрязнения питьевых подземных вод в условиях изменяющегося климата. По самым оптимистичным прогнозам, среднегодовая температура на Земле вырастет к началу следующего столетия как минимум на

два градуса Цельсия вне зависимости от действий человека, что заставит климат планеты необратимым образом поменяться. Волны жары, засухи и другие экстремальные погодные явления, а также рост уровня моря будут гораздо более опасными при повышении температур на два градуса и выше [10]. О.В. Парубец установлено, что на протяжении 80-летнего интервала времени в Крыму температура воздуха, как и количество атмосферных осадков растут [3].

Наиболее крупное обобщение по гидрогеологии и гидрогеохимии территории Крыма было выполнено в VIII томе Гидрогеологии СССР, Крым, под редакцией академика А.В. Сидоренко [1-2]. Наиболее крупный вклад в изучение региона внесли труды А.С. Моисеева, И.Г. Глухова, Е.А. Ришес, В.Г. Ткачук, С.В. Альбова, В.А. Куришко, Е.В. Львова, О.Е. Фесюнова, Н.М. Заезжева, В.И. Самулева, М.В. Чуринова, Н.А. Белокопытовой, В.Н. Дублянского, Г.Н. Дублянской, Н.Н. Капинос, А.В. Лущика, В.И. Морозова, Н.С. Огняника, А.Б. Ситникова, А.А. Сухороброва, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Ю.И. Шутова, Е.А. Яковлева и других. В период с начала 90-х годов прошлого столетия происходило общее снижение развития экономики, в том числе и геологоразведочных работ. Однако, в этот период продолжалось изучение режима подземных вод основных эксплуатируемых горизонтов, грунтовых вод на массивах орошаемого земледелия, обобщение результатов ранее выполненных исследований, эколого-гидрогеологический анализ состояния подземных вод отдельных водозаборов, разрабатывались методические положения по эколого-гидрогеологическому картированию мелкого и среднего масштабов. Следует отметить работы И.Б. Абрамова, Б.М. Данилишина, С.П. Иванюты, А.В. Лущика, Г.Г. Лютого, Н.С. Огняника, С.А. Рубана, В.М. Шестопалова, М.А. Шинкаревского, Е.А. Яковлева и других.

Верхнеюрские отложения имеют особую роль, поскольку с ними связаны основные области питания для водонапорных систем в пределах трех гидрогеологических структур: Равнинно-Крымского артезианского бассейна, Азово-Кубанского артезианского бассейна и гидрогеологической складчатой области мегаантиклинория Горного Крыма. Во-вторых, подземные воды обладают уникальными качественными характеристиками.

Водоносный комплекс верхнеюрских отложений мощностью до 3 км ($8(J_3)$) является частью нижнего (мезозойского) водоносного этажа – зоны затрудненного водообмена, и включает в себя два водоносных горизонта: *средневерхнеоксфордско-кимериджских* ($2(J_{3O_{2-3}}-J_{3km})$) и *средне-верхнетитонских отложений* ($2(J_{3tt_{2-3}})$), а также разделяющий их *нижнетитонский водоупорный горизонт* ($4(J_{3tt_1})$). *Средневерхнеоксфордско-кимериджский водоносный горизонт* охватывает отложения яйлинской и сухороченской свит. Яйлинская свита разделяется на две подсвиты: нижняя подсвита представлена коричнево-серыми известняками с прослоями алевролитовых известняков, линзами песчаников и алевролитов; верхняя подсвита состоит из коричнево-серых известняков, с пачками песчанистых и глинистых известняков и мергелей. Сухороченская свита представлена конгломератами с линзами грубозернистых песчаников и органогенных известняков. *Нижнетитонский водоупорный горизонт* состоит из отложений деймень-деринской свиты, которая, в свою очередь, разделяется на две подсвиты. Нижняя подсвита сложена флишеподобным переслаиванием серых алевролитовых глин и коричнево-серых

обломочных известняков. Верхняя посвита представлена серыми алевритистыми глинами с конкрециями сидеритов и прослойками обломочных известняков. Вышезалегающий *водоносный горизонт средне-верхнетонских отложений* представлен двумя свитами – калафатларской и байдарской. Калафатларская свита сложена полимиктовыми конгломератами с глыбами известняков яйлинской свиты. Байдарская свита представлена разными типами известняков.

В целом, в пределах верхнеюрского водоносного комплекса Крымского полуострова развиты подземные воды с величиной общей минерализации от 0,28 до 0,84 г/дм³ четырех химических типов по классификации С.А. Щукарева (рис. 1). Величина общей минерализации доминирующих гидрокарбонатных кальциевых и кальциево-магниевых вод изменяется в диапазоне от 0,28 до 0,78 г/дм³. Наибольшая минерализация подземных вод до 0,84 г/дм³ отмечается в гидрокарбонатных кальциево-натриевых водах в Бахчисарайском районе вблизи сел Плотинное и Голубинка. Также выявлены подземные воды гидрокарбонатного натриево-кальциевого состава с величиной общей минерализации колеблющейся в интервале 0,48-0,76 г/дм³.

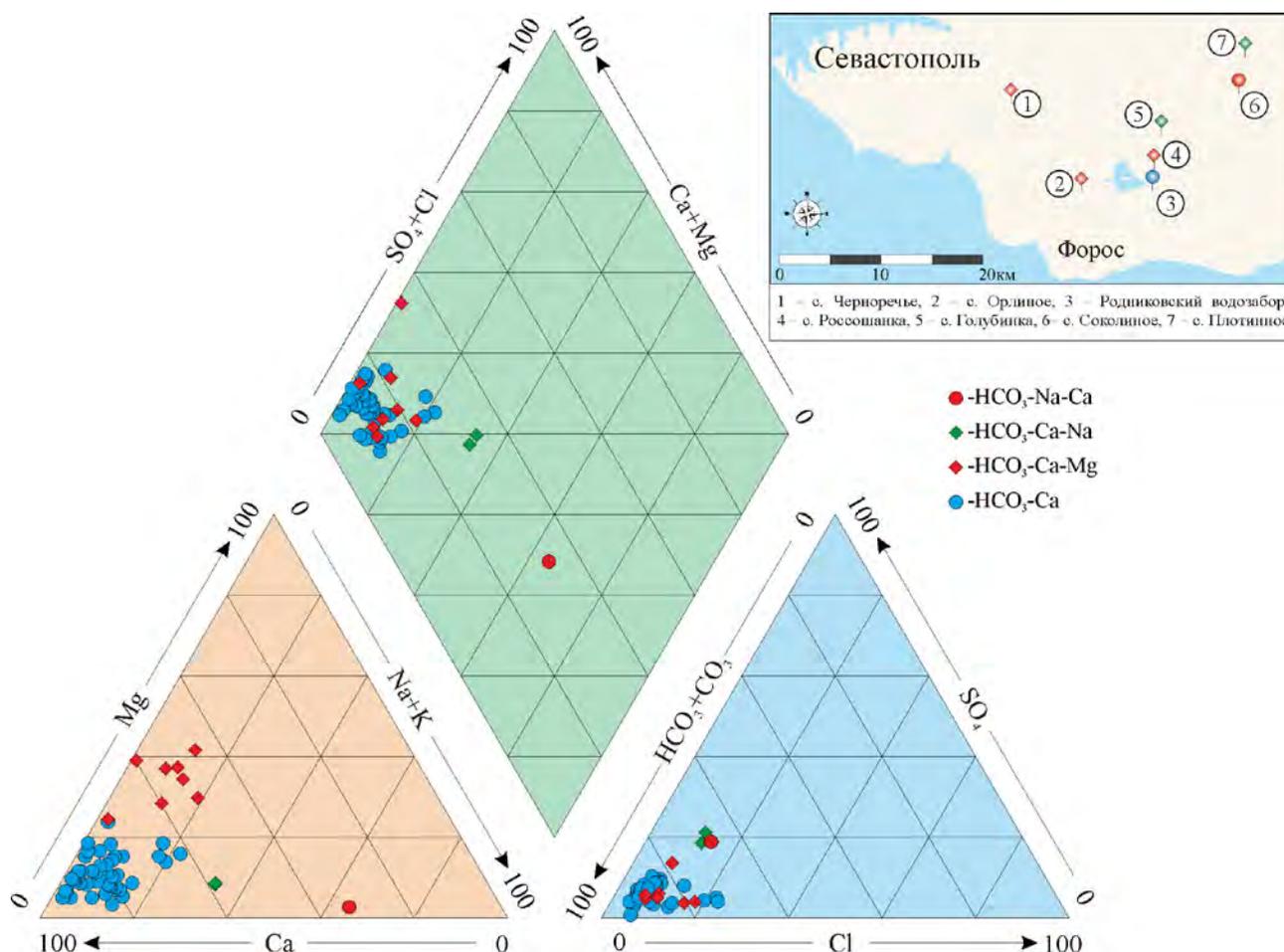


Рис.1. Диаграмма Пайпера состава подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова

Для оценки качества подземных вод верхнеюрского комплекса для целей питьевого водоснабжения был рассчитан набор общепринятых в мировой практике

параметров: PS – потенциальная соленость; SAR – коэффициент адсорбции натрия; SP – эквивалент-процентное содержание катионов натрия; RSC – остаток карбоната натрия; RSBC – остаток бикарбоната натрия; MAR – коэффициент адсорбции магния; KR – коэффициент Келли; PI – индекс водопроницаемости; CR – коэффициент коррозии (табл. 1, рис. 2) [4-9]. В результате комплексного анализа геохимических особенностей подземных вод верхнеюрского комплекса, установлено, что воды, наивысшего качества относятся в основном к гидрокарбонатному кальциевому типу Родниковского водозабора с величиной общей минерализации до 0,6 г/дм³. Воды удовлетворительного качества относятся к гидрокарбонатному кальциевому и кальциево-магниевому типам вод и отобраны из скважин, расположенных рядом с селами Россошанка, Орлиное, Родное, Плотинное и Голубинка. Воды низкого качества установлены в скважинах сел Соколиное и Черноречье северо-западнее и северо-восточнее Родниковского водозабора. Выявлено, что основными факторами, формирующими состав изученных питьевых подземных вод и их качественные характеристики, являются процессы протекающие в системе вода-горная порода и в меньшей степени континентальное засоление (рис. 2).

Исследования проводились при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920032 р_а.

Таблица 1.

Критерии качества подземных вод для целей питьевого водоснабжения

Критерий	Качество		
	Наивысшее	Удовлетворительное	Низкое
PS, мг-экв/дм ³	< 1,0	1,0 - 2,5	> 2,5
SAR	< 1,0	1,0 - 3,0	> 3,0
SP, % мг-экв/дм ³	< 20	20 - 60	> 60
RSC, мг-экв/дм ³	< 1,25	1,25 - 2,50	> 2,50
RSBC, мг-экв/дм ³	< 1,25	1,25 - 2,50	> 2,50
MAR	< 25	25 - 60	> 50
KR	< 1	1	> 1
PI	> 75	25 - 75	< 25
CR	< 1	1	> 1

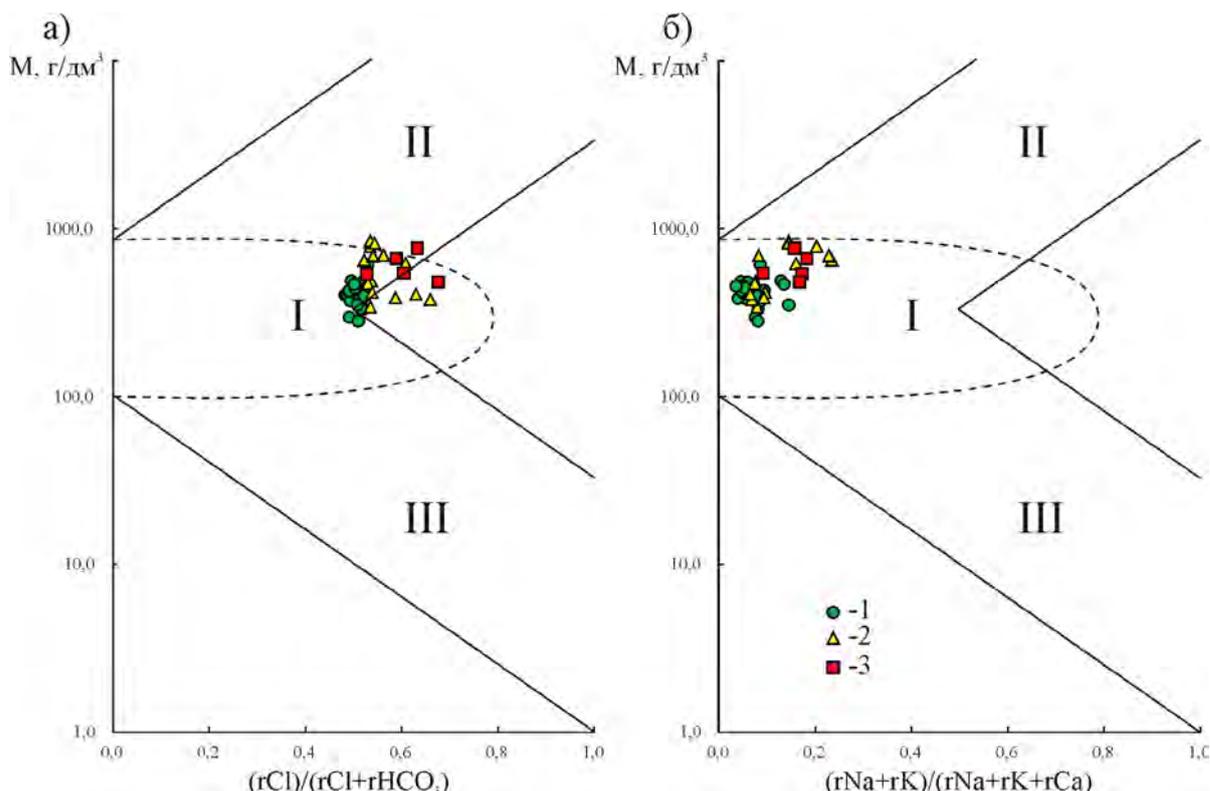


Рис.2. Диаграммы Гиббса [7] процессов, определяющих особенности гидрогеохимии и качество подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса юго-западных районов Крымского полуострова по: а) анионам и б) катионам. Качество питьевых подземных вод: 1) наивысшее; 2) удовлетворительное; 3) низкое; Контролирующие процессы: I – физическое и химическое выветривание; II – испарение; III – атмосферные осадки

Литература

1. Гидрогеология СССР. Том VIII. Крым. Гл. редактор академик А.В. Сидоренко. – Москва. Издательство «Недра», 1970. – 364 с.
2. Гидрогеология СССР. Том VIII. Крым. Гл. редактор академик А.В. Сидоренко. – Москва. Издательство «Недра», 1971. – 55 с.
3. Парубец О.В. Изменение климата в Крыму. – Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: География, 2009. – Т. 22 (61). – № 2. – с. 88-96.
4. Bauder T.A., Waskom R.M., Sutherland P.L., Davis J.G. Irrigation water quality criteria. – Colorado State University Extension Report, 2013. – № 0.506. – 306 P.
5. Camberato J. Irrigation water quality. – Turfgrass Program, Clemson University, 2011. – 10 P.
6. Doneen L.D. The influence of crop and soil on percolating water. – In: Proceedings of the 1961 biennial conference on ground water recharge, 1962. – pp 156–163.
7. Gibbs R.J. Mechanisms controlling world water chemistry. – Science, 1970. – № 170. – pp. 1088–1090.
8. Gupta S.K., Gupta I.C. Management of saline soils and water. – Oxford and IBM Publ Co, New Delhi, 1987. – 37 P.
9. Kelly W.P. Use of saline irrigation water. – Soil Sci, 1963. – №95. – pp. 355–391.
10. Raftery A.E., Zimmer A., Frierson D.M.V., Startz R., Liu P. Less than 2°C warming by 2100 unlikely. – Nature Climate Change, 2017. – V. 7. – p. 637-641.

УДК: 551.44

**ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО
СОСТАВА ВОД ИРЕНСКОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА
(НА ПРИМЕРЕ ОРДИНСКОЙ ПЕЩЕРЫ)**

Казанцева А. С.

*ПФИЦ УрО РАН, Кунгурская лаборатория-стационар, Кунгур, Россия;
kazanalena@bk.ru*

***Аннотация:** В зависимости от мощности и площади карстующегося массива, однородности слагающих его пород, наличия или отсутствия карстующихся пластов и ряда других причин формируется своеобразная гидродинамическая зональность подземных вод. В массиве Казаковской горы выделено три зоны циркуляции карстовых вод. Для каждой зоны установлены особенности изменения химического состава по сезонам.*

***Ключевые слова:** Ординская пещера, гидродинамические зоны, химический состав, минерализация.*

**FEATURES OF THE DYNAMICS OF CHANGES
THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE WATERS
OF IRENSKY WATER BEARING STRATUM
(ON THE EXAMPLE OF THE ORDA CAVE)**

Kazantseva A. S.

Perm Federal Research Center of Ural Branch of RAS, Kungur laboratory, Kungur, Russia; kazanalena@bk.ru

***Abstract:** Depending on thickness and stretch of karst massif, the homogeneity of composing it rocks, the presence or absence of karsting rocks and other reasons, is formed hydrodynamic zonality of underground waters. In the massif of the Kazakovsky mountain three zones of circulation of karst waters are separated. For each zone features of change of chemical composition on seasons are established.*

***Key words:** Orda cave, hydrodynamic zones, chemical composition, mineralization.*

Подземные воды – многокомпонентные растворы, которые находятся в непрерывном движении и изменяют химический состав под влиянием различных факторов (состав вмещающих пород, условия водообмена и др.) в пространстве (горизонтальное и вертикальное направление) и во времени. В массиве Казаковской горы, где сформировалась Ординская подводная пещера, выделяются три зоны циркуляции карстовых вод: зона вертикальной нисходящей циркуляции, зона горизонтальной циркуляции и зона сифонной циркуляции [3]. Таким образом, массив Казаковской горы является уникальным объектом для исследований, где

можно проследить изменения химического состава вод разных гидродинамических зон и провести их сравнительный анализ.

В 2017 г. нами были проведены исследования химического состава вод галерей Ординской пещеры и двух источников. Химический анализ воды выполнен в гидрохимической лаборатории ПГНИУ аналитиками Н.Р. Биктимировой, Е.Н. Копанцевой и Н.В. Порошиной.

Пробы воды, отобранные в нескольких галереях пещеры и в источниках, расположенных ниже пещеры (Арсеновский и Подзுவевский) позволяют охарактеризовать состав воды и обменные процессы в разных зонах циркуляции вод в разные фазы водности, связанные с сезонами года.

Зона вертикальной нисходящей циркуляции вод характеризуется инфильтрацией атмосферных осадков и талых вод по вертикальным трещинам массива. Мощность зоны определяется толщиной карстующихся пород и в пределах пещерного поля над Ординской пещерой составляет 50 м. Для изучения изменений состава были отобраны пробы атмосферных осадков, инфильтрационных вод (пробы капли из Сухого зала пещеры) и из р. Кунгур (точка отбора ниже пещеры). Значения минерализации водных проб представлены на рисунке 1.

Атмосферные осадки характеризуются низкой минерализацией и относятся к гидрокарбонатно-сульфатному типу. По данным метеостанции г. Кунгура зимой 2017 г. (январь – март) выпало 86 мм осадков, в весенний и летний периоды (апрель – август) суммарно выпало 470 мм осадков. Теоретически, минерализация атмосферных осадков связана с их количеством в различные периоды года. Результаты анализа свидетельствуют о том, что действительно, в период интенсивных дождей минерализация несколько ниже (72 мг/дм^3), чем в сухой период ($81,5 \text{ мг/дм}^3$).

Инфильтрационные воды капли в Сухом зале Ординской пещеры относятся к гидродинамической подзоне подвешенных карстовых вод, сформированной на местном водоупоре – туюской пачке доломитов. Разгрузка линзы подвешенных вод в виде капли происходит постоянно вне зависимости от сезона года. В процессе медленного просачивания по трещинам сквозь толщу сульфатно-карбонатных коренных отложений пресные инфильтрационные воды в данном случае насыщаются преимущественно SO_4 , Ca, HCO_3 , приобретают повышенную минерализацию до $2-2,5 \text{ г/дм}^3$, переходя в разряд слабосоленоватых вод, а иногда и в разряд сильносоленоватых вод с минерализацией от 3 г/дм^3 и более. Посезонный отбор позволил установить, что весной минерализация инфильтрационных вод имеет максимальное значение – до 2564 мг/дм^3 , за счет атмосферных осадков, накопленных за зимний период на поверхности.

Воды р. Кунгур, отобранные ниже Ординской пещеры имеют минерализацию более 2000 мг/дм^3 . Как установлено ранее [4], высокое значение минерализации связано с линейной зоной разгрузки подземных вод, вытянутой от входа в пещеру к Арсеновскому источнику.

Зона горизонтальной циркуляции вод характеризуется свободным стоком безнапорных вод к р. Кунгур. Трещиноватость массива, в котором заложена пещера, создает гидравлическую связь речных вод с карстовыми. В Ординской пещере в этой зоне нами исследованы воды озера Входного, воды сводовой и нижней ча-

стей галереи Свердловского хода и воды в пределах сводовой части Большого зала (рис. 1).

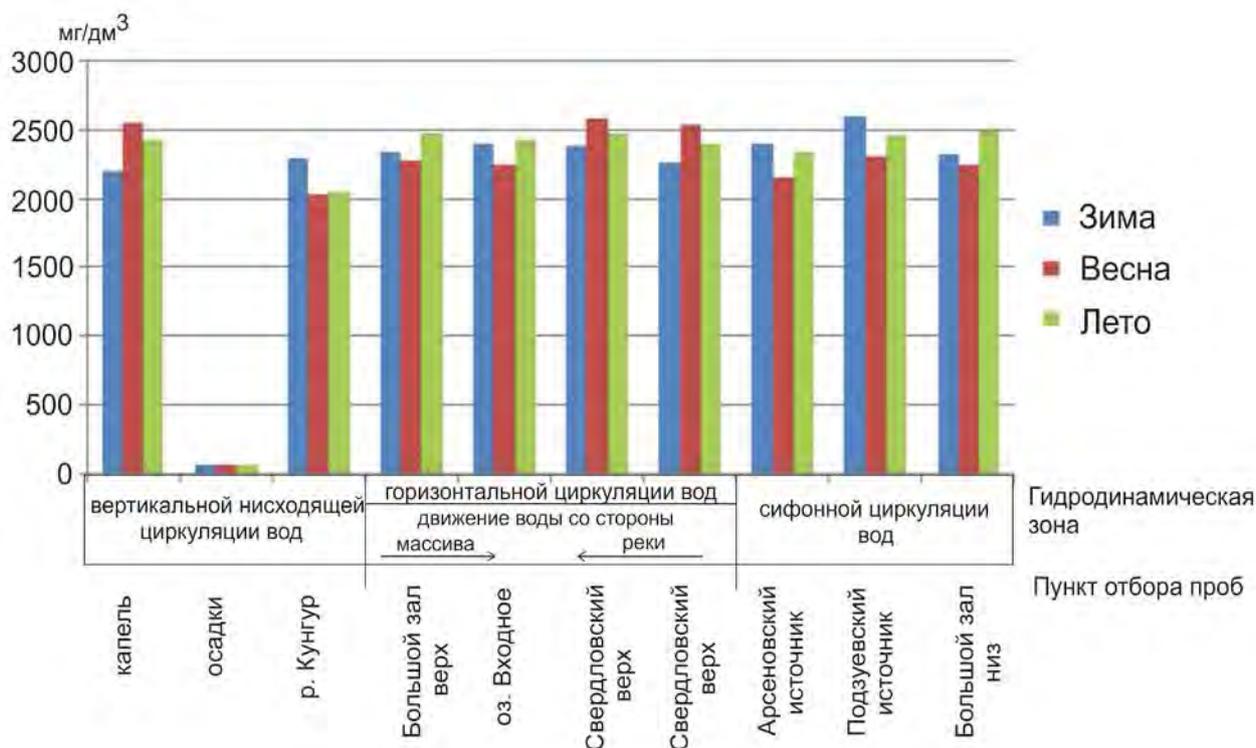


Рис. 1. График изменения минерализации водных проб в гидродинамических зонах.

Здесь установлены два направления движения поверхностных вод: субвертикальная инфильтрация от приповерхностной части массива Казаковской горы и субгоризонтальное инфлюационное внедрение речных вод вглубь массива. Внутри массива движение вод направлено от Большого зала (сводовая часть) в сторону Входного озера. В зимнее время минерализация увеличивается при движении вод вглубь пещеры, в весенний и летний периоды наблюдается обратная тенденция (рис. 1).

Субгоризонтальное движение вод р. Кунгур вглубь массива осуществляется со стороны Свердловского хода ко входовой части пещеры. В зимний период величина общей минерализации увеличивается в сторону Входного озера, весной наибольшую минерализацию имеют воды Свердловского хода (2550 и 2587 мг/дм³), при этом минерализация уменьшается от верхней к нижней части хода (рис. 1). Пока не ясно, почему весной воды Свердловского хода имеют максимальное количество растворенных веществ, возможно, результаты изотопного состава воды помогут выяснить причину.

В зависимости от направления движения воды изменяется ее химический состав. В зимнее время движение осуществляется по направлению к входной части пещеры, увеличивая общую минерализацию. В теплые периоды установлено обратное движение карстовых вод – от входа в пещеру в сторону галерей.

Зона сифонной циркуляции вод – зона восходящего движения напорных карстовых вод по тектоническим нарушениям. Нами исследованы восходящие субак-

вальные источники (фидеры) в Большом зале, где зафиксировано восходящее движение воды из углублений в донной части полости и субаквальные Арсеновский и Подзуевский источники. Опробование вод из фидера Большого зала позволило установить, что при движении в вышележащих сульфатных породах гидрокарбонатно-кальциевые воды филипповского горизонта преобразуются в сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые воды с повышенной минерализацией (>2250 мг/дм³) (рис. 1). Субаквальные источники в течение года всегда имеют высокое значение общей минерализации (от 2161 до 2608 мг/дм³).

Для оценки растворяющей способности воды была использована методика D. Ford, P. Williams [6] и В.П. Зверева [2]. В основе методик лежит определение коэффициента растворимости и индекса насыщения сульфатом кальция. Анализ результатов определения минерализации вод позволил сделать вывод о том, что высокая степень насыщенности вод озер Ординской пещеры и источников в зимний и летний периоды свидетельствует о высокой активности карстового процесса в сульфатных породах. В остальное время года воды являются недосыщенными по отношению к сульфату кальция – агрессивными к гипсам. Гидрохимический анализ позволил установить и еще одну закономерность, связанную с изменениями насыщенности вод от сезона. Так в зимний период степень насыщенности воды сульфатом кальция увеличивается снизу вверх к кровле грота за счет восходящих потоков воды со дна Большого зала, летом – сверху вниз (обратная циркуляция), что говорит о динамике изменения состава вод в разные по водности периоды года.

Для Арсеновского и Подзуевского источников характерна повышенная минерализация (до 2608 мг/дм³) и высокий индекс насыщения сульфатом кальция (>1) в зимний период и относительно низкая минерализация (до 2131 мг/дм³) и индекс насыщения в весенний и летний периоды (<1). Эти данные свидетельствуют об агрессивности вод и повышении их растворяющей способности весной и летом за счет температуры на поверхности и инфильтрации талых и дождевых вод. В зимний период доля атмосферного питания уменьшается, что приводит к увеличению степени насыщения сульфатом кальция.

Сравнение полученных результатов с данными, опубликованными в 2009 г. [7], дает возможность говорить об определенном установившемся гидрогеологическом режиме. За восьмилетний период показатели индекса насыщения и коэффициента растворимости в весеннее и летнее время практически не изменяются.

Таким образом, в разные фазы водности, в разных гидродинамических зонах циркуляции подземных вод наблюдаются изменения химического состава воды. Для вод зоны вертикальной циркуляции исследуемого района, за исключением атмосферных осадков, характерно высокое содержание сульфатов и повышенная минерализация. В зоне горизонтальной циркуляции выявлено изменение химического состава вод в нескольких направлениях – в зимний период разгрузка вод осуществляется в сторону входной части пещеры, в весенний и летний периоды – в обратном направлении. В местах выхода субаквальных источников установлена вертикальная зональность изменения химического состава вод, подтвержденная расчетами индекса насыщения. В течение года для подземных вод характерна низкая степень насыщенности сульфатом кальция, что говорит о высокой активности

процесса растворения в данном районе. Предполагаемые в дальнейшем исследования изотопного состава вод, вероятно, позволят объяснить вариации их химического состава и дополняют результаты выполненных исследований.

Работа выполнена в рамках гранта Российского фонда федерального имущества № 17-45-590369 «Исследование формирования изотопного и химического состава природных вод на территории Пермского края» (2017 г.).

Литература

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.К., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области - Перм. гос. ун-т. Пермь, 1992. – 200 с.
2. Зверев В. П. Гидрогеохимические исследования системы гипсы - подземные воды. – М.: Наука, 1967. – С. 23.
3. Максимович Г.А. Основы карстоведения: вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Т.1. – Пермь, 1963. – 446 с.
4. Максимович Н.Г., Максимович Е.Г., Лавров И.А. Ординская пещера. Длиннейшая подвонная пещера России. – Пермь, 2006. – 64 с.
5. Турышев А.В. Карстовые явления и подземные воды северной части Уфимского плато. Т.1. – Кунгур, 1960. – 321 с.
6. Ford D., Williams P. Karst hydrogeology and geomorphology / John Wiley & Sons Ltd. – England, 2007. – p. 44.
7. Kadebskaya O.I., Maksimovich N.G. The Role of Hypogene Speleogenesis in the Formation of the Ordinskaya Cave, Fore-Urals, Russia // Hypogene Karst Regions and Caves of the World, 2017. – pp. 431-446.

УДК: 551.444

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРСТОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ООПТ АБХАЗИИ

Кудерина Т.М.¹, Мавлюдов Б.Р.¹, Грабенко Е.А.², Медведев А.А.¹, Экба Я.А.³

¹ФГБУН Институт географии РАН, Москва, Россия, e-mail: kuderina@igras.ru

²Кавказский заповедник, Майкоп, Россия, e-mail: grabenko@inbox.ru

³Институт экологии АНА, Сухум, Абхазия, e-mail: ekba-yan@yandex.ru

Аннотация: В статье описывается геохимическое состояние поверхностных и карстовых вод фоновых ландшафтов западной Абхазии. Исследованиями были охвачены особо охраняемые природные территории Абхазии. Полученные результаты свидетельствуют, что основными факторами влияния на геохимическое состояние поверхностных вод фоновых ландшафтов западной Абхазии являются вмещающие карбонатные породы и воды вклюдов.

Ключевые слова: геохимия природных вод, карстовый массив, минерализация и температуры воды, содержание химических элементов.

**GEOCHEMICAL CONDITION OF SURFACE AND GROUND WATER
FOR KARST LANDSCAPES OF PROTECTED AREAS IN ABKHAZIA**

Kuderina T.M.¹, Mavlyudov B.R.¹, Grabenko EA², Medvedev AA¹, Ekba J.A.³

¹*FGBUN Institute of Geography RAS, Moscow, Russia, e-mail: kuderina@igras.ru*

²*Caucasus Reserve, Maikop, Russia, e-mail: grabenko@inbox.ru*

³*Institute of Ecology of ANA, Sukhum, Abkhazia, e-mail: ekba-yan@yandex.ru*

Abstract: *The article describes the geochemical conditions of surface and karst waters of the natural landscapes of Western Abkhazia. The research covered the protected areas of Abkhazia. The obtained results show that the main factors influencing the geochemical conditions of the surface waters of the natural landscapes of Western Abkhazia are the enclosing carbonate rocks and water of the Vaucuses.*

Key words: *geochemistry of natural waters, karst massif, salinity and temperature of the water, content of the chemical elements.*

Рациональное использование природных ресурсов карстовых ландшафтов необходимо для устойчивого развития Абхазии. Вода, как ресурс первой необходимости, сегодня приобретает особое значение [4]. Водосборные бассейны рек южного склона Кавказа формируются в обширных карстовых массивах [5, 8]. Питание рек снеговое и дождевое при заметном участии подземных вод, которые дренируют карстовые породы и, зачастую, через вклюдзы попадают в воды речных систем [2].

Цель исследований – определение геохимического состояния поверхностных и карстовых вод фоновых ландшафтов западной Абхазии. Объектами исследования были ключевые створы рек южного склона Бзыбского хребта и приуроченные к долинам этих рек вклюдзы и выходы пещерных вод.

Использование методов геохимии ландшафтов позволяет при бассейновом подходе выделить геосистемы в одном карстовом массиве [7]. Опробование гидрологических компонентов этих геосистем, включающих поверхностные воды и подземные воды карстовых полостей, проводилось во время зимней межени в марте 2018 года. Аналитические исследования были выполнены в Институте географии РАН и в лаборатории отдела минералогии, изотопной геохимии и геоэкологии ЦНИГРИ (содержание химических элементов методом ICP MS на приборе ELAN–6100).

Нашими исследованиями были охвачены фоновые территории Абхазии – гидрогеосистема массивов Арабика и Бзыбского, включающих озеро Рицу, реки Юпшару, Гегу, Бзыбь, вклюдзы Голубого озера, а также берущую начало из вклюдза реку Мчишту. Второй массив – Гумишха-Псырцха характеризуется реками Маниакварой, Псырцхой, водами Новоафонской пещеры [1, 3, 6] и пещеры Пасть Дракона (Тигра), изливаниями и временным ручьем в русле под кельей Симона Канонита, расположенной в правом борту долины Псырцхи.

Полевые измерения температуры, минерализации и рН воды в этих двух геосистемах проводились портативным кондуктометром «Hanna-HI 98129». Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Показатели рН, минерализации и температуры воды в поверхностных и подземных водах карстовых массивов Абхазии

Место отбора проб	рН	Минерализация, мг/л	Температура воды, °С
Бзыбский массив			
Озеро Рица	8,11	40	5
Р.Юпшара	8,24	110	8,5-8,7
Р.Гега	8,28	100	7,5
Р.Бзыбь	8,21	130	9,4
Воклюз Голубого озера	8,12	150	9,1
Р.Мчишта	8,17	120	10,1
массив Гумишха-Псырцха			
Пещера Пасть Дракона	8,05	160	7,8
Новоафонская пещера	7,89	270	12
Источник Канонита	7,94	110	10,8
Ручей Канонита	8,06	280	11,9
Излияние в долине Псырцхи	8,09	140	10,2
Р.Псырцха, излияние из правого борта	8,06	130	11,1
Р.Псырцха, основной исток	7,94	230	10,0
Р.Маниаквара	8,5	200	11,5

Воды Бзыбского карстового массива в целом щелочные, минерализация вниз по течению рек увеличивается. Воклюз Голубого озера более минерализован, чем речные воды.

Воды массива Гумишха-Псырцха слабощелочные. Температура воды на высоте пещеры Дракона $-7,8^{\circ}\text{C}$, внизу в районе Новоафонской пещеры $-10-12^{\circ}\text{C}$. Минерализация и зависят от поступления атмосферных осадков в подземные воды. Однако источники остальных точек излияний не столь очевидны. По нашим наблюдениям не прослеживается влияния Новоафонской пещеры на речные воды Маниаквары.

Для сравнительного анализа приведены полученная нами средняя концентрация химических элементов в речных водах Абхазии и значимые содержания этих элементов в пробах вод карстовых массивов (Таблица 2 и 3).

Воды Бзыбского карстового массива, в целом, имеют меньшие концентрации химических элементов, чем воды массива Гумишха-Псырцха. Возможно это связано с тем, что Бзыбский карстовый массив имеет большие средние абсолютные высоты, чем массив Гумишха-Псырцха. В связи с этим в формировании стока с Бзыбского карстового массива принимают большее участие более пресные талые снеговые воды. Максимальные содержания элементов приурочены к воклюзам р. Псырцхи.

Таблица 2

Содержание химических элементов глобального распространения в водах карстовых массивов Абхазии, мкг/л

Место отбора	B	Al	Si	Li	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba
Среднее содержание в реках Абхазии	5,9	9,9	933	0,8	2882	6528	734	34095	212	75,5
оз. Рица	11,2	12,0	1200	0,4	1767	4180	370	12503	37	5,1
р. Юпшара	7,5	111,0	961	0,3	1595	9646	408	42890	82	6,1
р. Гега	7,9	83,8	1125	0,4	1668	8542	352	30839	65	5,4
р. Бзыбь	6,5	39,3	887	0,3	1225	13524	406	40272	67	6,4
Голубое озеро	2,0	10,4	609	0,2	424	11408	442	25135	207	12,6
р. Мчишта	1,2	120,5	485	0,1	297	12036	333	34449	28	6,1
пещера Пасть Дракона	0,9	7,2	801	0,0	575	1124	172	70739	66	5,6
Новоафонская пещера	4,0	7,1	965	0,3	786	2717	1575	51966	88	111,6
источник Канонита	4,9	9,7	2775	1,6	5300	6693	1825	186706	661	453,5
ручей Канонита	1,9	124,3	1574	0,3	1183	4995	925	102456	124	59,4
р. Псырцха, правый берег	1,2	96,9	1211	0,2	1065	3894	700	74439	85	35,7
р. Псырцха, исток	2,3	243,0	1698	0,4	1157	4483	1105	98110	121	96,1
р. Маниаквара	4,4	15,7	1762	1,3	2345	3005	1371	100446	360	226,3

Таблица 3

Содержание химических элементов регионального и локального распространения в водах карстовых массивов Абхазии, мкг/л

Место отбора	Br	I	Bi	Ti	Mn	Ni	Zr	W	Y	La	U
Среднее содержание в реках Абхазии	78	4,7	0,006	76	0,9	125,8	0,04	0,02	0,03	0,01	0,15
оз. Рица	55	2,9	0,020	11	1,4	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
р. Юпшара	58	2,2	0,020	46	0,4	0,5	0,00	0,02	0,02	0,01	0,07
р. Гега	50	1,9	0,004	30	0,5	0,9	0,00	0,02	0,02	0,01	0,07
р. Бзыбь	56	2,6	0,004	38	0,3	1,4	0,00	0,02	0,02	0,01	0,15
Голубое озеро	57	2,4	0,030	105	1,3	166,4	0,02	0,03	0,04	0,01	0,29
р. Мчишта	63	2,7	0,000	38	0,5	1,1	0,00	0,06	0,02	0,02	0,18
пещера Пасть Дракона	87	5,7	0,000	55	0,3	2,2	0,00	0,06	0,00	0,00	0,14
Новоафонская пещера	93	4,5	0,000	47	0,2	1,4	0,05	0,13	0,03	0,02	0,14
источник Канонита	115	6,6	0,000	142	1,9	3,9	0,10	0,07	0,02	0,01	0,42
ручей Канонита	122	5,6	0,012	84	1,3	4,8	0,13	0,08	0,09	0,06	0,19
р. Псырцха, правый берег	96	5,3	0,016	61	0,9	1,8	0,00	0,35	0,07	0,03	0,18
р. Псырцха, исток	107	6,3	0,024	133	1,4	4,2	0,14	0,22	0,14	0,18	0,22
р. Маниаквара	72	3,4	0,012	81	0,3	1,4	0,00	0,22	0,00	0,01	0,25

Высокие концентрации брома и йода в долине Псырцхи, возможно, образуются под влиянием черноморских глубинных вод, что соответствует выводам З.К. Тинтилозова [8]. Тяжелые металлы, а также лантаноиды и радиоактивные элементы поступают с подземными водами вклюдозов. Антропогенное влияние на воды изучаемых объектов, расположенных на территориях ООПТ Абхазии, в зимний период не прослеживается.

Таким образом, определение геохимического состояния поверхностных и карстовых вод фоновых ландшафтов западной Абхазии показало, что основными факторами влияния на них являются вмещающие карбонатные породы и воды вклюдозов.

Работа выполнена по гранту РФФИ 17-55-40003 «Орогенетическая типизация пещер и карстовых объектов Абхазии».

Литература

1. Грабенко Е.А., Кадебская О.И., Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Эмба Я.А. Новоафонская пещера, результаты исследований в 2015-2016 гг. // Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Симферополь, 3-8 октября 2016 г. / Отв. ред. Кладовщикова М.Е., Токарев С.В. – Симферополь, 2016. – Том 2. – С. 180-184.
2. Кавришвили К.В. Природа карстовых территорий черноморского побережья Грузии. – Тбилиси: «Мецниереба», 1988. – 85 с.
3. Кудерина Т.М., Грабенко Е.А., Медведев А.А., Мавлюдов Б.Р., Эмба Я.А., Мархолия В.В. Гидрохимические показатели Новоафонской пещерной системы в зимний период // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы IV Международной научно-практической конференции (15 – 18 мая 2017 г. Майкоп). Часть 2. – Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2017. – С. 11-16.
4. Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А. Геохимический состав поверхностных вод природных и антропогенных ландшафтов Абхазии // Природа, наука, туризм в ООПТ: материалы международной юбилейной научной конференции, посвященной 20-летию Ризинского реликтового национального парка (15-19 октября 2016 г.) / Гудаута: Ризинский реликтовый национальный парк, 2016. – С. 24-27.
5. Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А. Гидрогеохимия пещер Западного Кавказа // Материалы VI Междунар. науч. конф. «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах». Белгород: Изд-во «ПОЛИТЕРРА», 2015. – С. 244-248.
6. Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А., Эмба Я.А. Гидрогеохимическое состояние Новоафонской пещерной системы // В сборнике: Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции. 2016. – С. 285-288.
7. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа. 1975. – 342 с.
8. Тинтилозов З.К. Карстовые пещеры Грузии. – Тбилиси: Мецниереба, 1976. – 275 с.

**ВОПРОСЫ БИОСПЕЛЕОЛОГИИ, ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ
ПРОСТРАНСТВ И ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

УДК 551.44

**СПЕЛЕОРЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ КРЫМА
И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРИРОДООХРАННОЙ
И РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Амеличев Г.Н., Токарев С.В.

*Учебно-методический научный центр «Институт спелеологии и карстологии»
Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Симферополь, Рес-
публика Крым; lks0324@yandex.ru*

Аннотация: В работе рассмотрены основные результаты ресурсной оценки карстовых полостей на территории Крыма. Выявлено более 120 пещер, претендующих на присвоение заповедного статуса. Представлены карты, характеризующие распределение наиболее ценных пещер и закарстованных территорий, которые облегчают проектирование новых заповедных и рекреационных объектов.

Ключевые слова: карстовая полость, ресурсный потенциал, оценка, заповедный статус, Крым.

**SPELEO-RESOURCE POTENTIAL OF THE KARST CAVES OF CRIMEA
AND THE PROSPECTS OF ITS APPLICATION
IN NATURE RESERVATION AND RECREATIONAL ACTIVITY**

Amelichev G.N., Tokarev S.V.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea;
lks0324@yandex.ru*

Abstract: The basic results of recourse assessment of the karst caves in the territory of Crimea are considered in the paper. It was revealed that above 120 caves pretend to be assigned a reservation status. The maps of distribution of the most valuable caves and karst terrains are presented in the paper, which help to project new natural reservation and recreational objects.

Keywords: karst cave, resource potential, assessment, reservation status, Crimea.

Современная сеть заповедных комплексов в Крыму далеко не исчерпывает сложившиеся потребности оптимизации природопользования. Новейшие исследования ландшафтного разнообразия и быстрая деградация естественных поверхностных и подземных ландшафтов под напором хозяйственной деятельности диктуют необходимость заповедания в ближайшее время нескольких десятков новых природных уникамов, включая создание новых заказников, заповедников, нацио-

нальных и природных парков, в том числе карстолого-спелеологической направленности. На 2016 г. среди территорий и объектов заповедного фонда Крыма насчитывается 2 геологических заказника и 73 геологических памятника природы. Только в составе заказника «Горный карст Крыма» охраняется более 300 спелеологических объектов. В целом по Крыму в пределах заповедных резерватов располагается около 65% карстовых полостей, что на первый взгляд может показаться благополучным состоянием дел. При детальном рассмотрении оказывается, что многие пещеры, находящиеся в составе заповедных территорий, не имеют особой ценности и наоборот, полости, обладающие уникальными свойствами, лежат за пределами охраняемых площадей и не имеют природоохранного статуса. Незащищенность законом таких пещер в условиях растущей антропогенной нагрузки в целом и увеличивающейся вовлеченности спелеологических объектов в рекреационную деятельность в частности, является ключевым фактором в оценке их уязвимости и сохранении полостных ресурсов. Поэтому в начале 2000-х гг. была разработана методика оценки спелеоресурсного потенциала природных пещер Горного Крыма, позволяющая научно обоснованно подойти к выявлению природоохранной и рекреационной ценности каждого спелеологического объекта [1]. Ввиду высокой динамичности прироста вновь открываемых пещер в регионе было решено проводить 5-летние ревизии спелеоресурсов с обязательной оценкой и картографированием результатов.

По итогам ревизии 2018 г. в Крымском кадастре карстовых полостей зафиксировано 1629 объектов, суммарной протяженностью более 125 км, глубиной 36 км и объемом около 2 млн. м³. В оценке ресурсов участвовало 1454 карстовых полости, на которые имеются полноценные индивидуальные паспорта. В качестве оценочных критериев использовались морфологические, геологические, гидрологические, климатические и биологические элементы и параметры пещерной среды, устойчивость и динамика которых являются результатом комплексного взаимодействия ландшафтных компонентов. Многие из них являются уникальными, обладают высокой зрелищностью, могут эффективно выполнять образовательные и воспитательные функции, что является важным неотъемлемым свойством любого рекреационного объекта. Поэтому используемые критерии выступают не только для определения природоохранной, но и рекреационной значимости каждой конкретной карстовой полости.

Результаты оценки распределились следующим образом. Минимальное значение составило 0,13, а максимальное – 63,17 балла (Красная пещера). Использование средней арифметической оценки и среднеквадратического отклонения всей анализируемой совокупности позволило разбить ее на три части: типичные пещеры (без статуса), пещеры-памятники регионального значения и пещеры-памятники федерального значения. В первую группу попали 92% пещер с оценками ниже 7,1 балла, во вторую – 4% (от 7,1 до 11,9 балла), в третью – 4% (более 11,9 балла). Выделено 124 карстовых полости, обладающих наивысшим спелеоресурсным потенциалом и природоохранной значимостью. Наибольшее количество редких и уникальных пещер сосредоточено в Горном Крыму на Айпетринском (41), Карабийском (26), Долгоруковском (14) и Чатырдагском (14) массивах (рис. 1).

Важный прикладной аспект спелеоресурсной оценки пещер - выявление приоритетных территорий для организации спелеологических заказников, заповедников и национальных парков, которые объединяли бы единым режимом охраны карстовые полости, обладающие наиболее ценными и типичными свойствами. Он подразумевает переход от локального к региональному уровню процесса заповедания спелеологических объектов. Важным условием при этом является компактность размещения на территории пещер с высокими оценками. Это обеспечивает высокую эффективность охранных мероприятий и снижение финансовых затрат на их проведение. В связи с этим карстовые массивы с меньшими площадями и большим количеством наиболее ценных пещер будут иметь приоритетное значение для организации особо охраняемых природных территорий [2]. Первым важным индикатором таких проектируемых территорий, является плотность пещер ($e = b / d$; табл. 1, рис. 1), вторым - средняя оценка спелеоресурсного потенциала (c) каждого из карстовых массивов, рассчитанная по индивидуальным оценкам входящих в них спелеологических объектов.

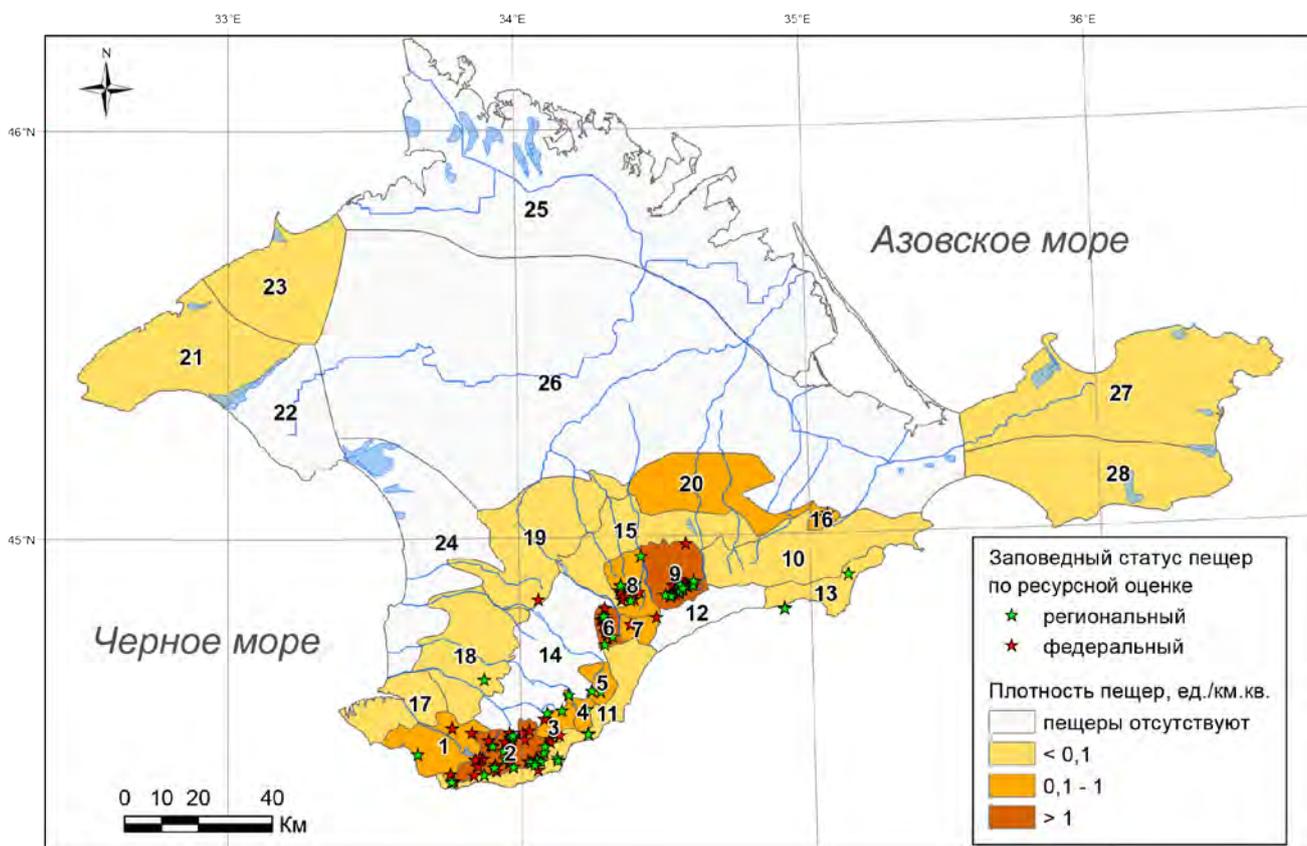


Рис. 1. Распределение плотности пещер и наиболее ценных из них на карте карстологического районирования Крыма.

Цифрами даны карстовые районы (по Б.А. Вахрушеву [3]): 1. Байдарско-Балаклавский; 2. Ай-Петринский; 3. Ялтинский; 4. Никитско-Гурзуфский; 5. Бабуганский; 6. Чатырдагский; 7. Демерджинский; 8. Долгоруковский; 9. Карабийский; 10. Восточно-Крымский; 11. Западно-Южнобережный; 12. Восточно-Южнобережный; 13. Судакский; 14. Качинско-Курцовский; 15. Салгирско-Индольский; 16. Агармышский; 17. Севастопольский; 18. Бахчисарайский; 19. Симферопольский; 20. Белогорский; 21. Западно-Тарханкутский; 22. Восточно-Тарханкутский; 23. Северно-Тарханкутский; 24. Альминский; 25. Присивашский; 26. Центрально-Крымский; 27. Северо-Керченский; 28. Южно-Керченский.

Таблица 1

Выявление приоритетных карстовых массивов для создания особо охраняемых природных территорий

Карстовый район	Количество оцененных пещер, шт	Средняя оценка, балл	Площадь, км ²	Плотность пещер, шт/км ²	Удельная оценка, балл/км ²
a	b	c	d	e	f
Байдарско-Балаклавский	31	5,10	290,58	0,11	0,56
Ай-Петринский	463	2,19	234,69	1,97	4,32
Ялтинский	48	4,26	73,54	0,65	2,77
Никитско-Гурзуфский	9	6,16	46,86	0,19	1,17
Бабуганский	34	1,85	75,70	0,45	0,83
Чатырдагский	159	2,29	68,19	2,33	5,34
Демерджинский	15	3,15	67,76	0,22	0,69
Долгоруковский	38	7,85	169,04	0,22	1,73
Карабийский	418	1,80	258,08	1,62	2,92
Восточно-Крымский	3	2,17	751,29	<0,01	<0,01
Судакский	21	4,62	205,84	0,10	0,46
Салгирско-Индольский	8	1,53	581,98	0,01	0,02
Агармышский	18	2,29	43,12	0,42	0,96
Севастопольский	22	0,82	247,31	0,09	0,07
Бахчисарайский	20	1,90	714,48	0,03	0,06
Симферопольский	18	2,66	1110,13	0,02	0,05
Белогорский	38	0,75	334,20	0,11	0,08
Северо-Тарханкутский	10	0,60	1327,37	<0,01	<0,01
Западно-Тарханкутский	54	0,74	1089,26	0,05	0,04
Северо-Керченский	22	0,52	1758,40	0,01	<0,01
Южно-Керченский	2	4,91	1119,46	<0,01	<0,01
Западно-Южнобережный	3	8,86	342,01	<0,01	0,08

Таким образом, возникает возможность получить новый параметр – удельную оценку природоохранной и рекреационной значимости карстовых массивов, которая рассчитывается как произведение средней плотности на среднюю оценку ресурсного потенциала пещер ($f = e \times c$; табл. 1) и характеризует спелеоресурсную ценность 1 км² закарстованной территории массива. Результаты оценки карстовых регионов Крыма по этому показателю представлены на рисунке 2.

Из него следует, что территории, включающие лидирующую группу в составе Чатырдагского (5,34 балла/км²), Ай-Петринского (4,32), Карабийского (2,92), Ялтинского (2,77) и Долгоруковского (1,73) массивов, являются приоритетными для создания новых карстолого-спелеологических резерватов. Здесь наиболее успешно

будет осуществляться сохранение, рекреационное использование и воспроизведение спелеоландшафтных комплексов.

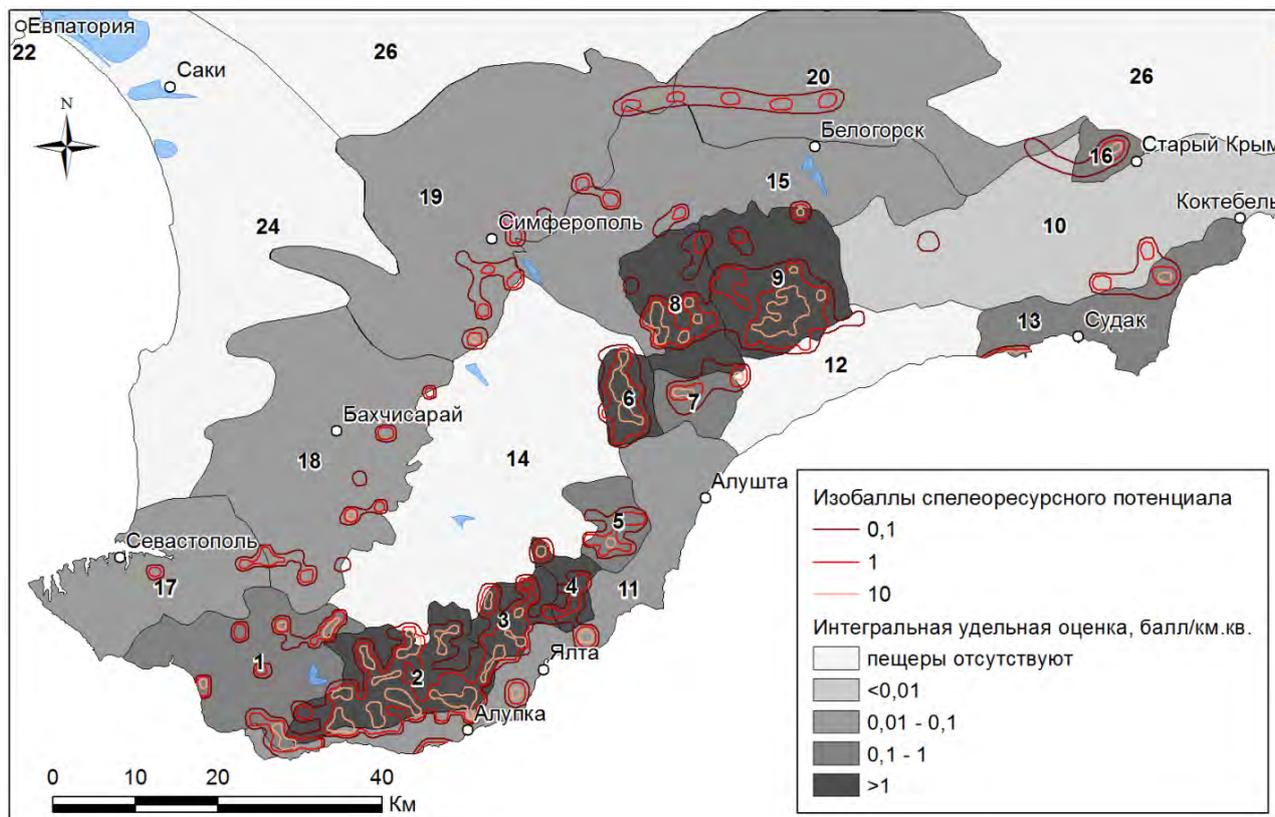


Рис. 2. Интегральная (цветом) и дифференциальная (изобаллами) спелеоресурсная оценка закарстованных территорий горной части Крыма. Цифрами даны карстовые районы (см. подпись к рис. 1).

Литература

1. Амеличев Г.Н., Лукьяненко Е.А. Оценка спелеоресурсного потенциала карстовых полостей и массивов Горного Крыма // Географія і сучасність. - Київ: КНПУ, 2003. - Вип.10. - С.134-154.
2. Амеличев Г.Н., Вахрушев Б.А. Ресурсы рельефа // Туристско-рекреационный ресурсный потенциал Республики Крым и г. Севастополь / Под ред. И.М. Яковенко. – Симферополь: ИТ АРИАЛ, 2015. – С. 77-89.
3. Вахрушев Б.А. Районирование карста Крымского полуострова // Спелеология и карстология. - 2009. - №3. - С. 39-46.

УДК: 551.435.8

СОЗДАНИЕ СЕТИ ООПТ, КАК ПУТЬ СОХРАНЕНИЯ КАРСТОВЫХ ЛАНДШАФТОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ОЗЕРА ИНДЕР

Головачев И.В.

*Астраханский государственный университет, гор. Астрахань, Россия
Русское географическое общество, Астраханское отделение; bask_speleo@mail.ru*

Аннотация: В статье на основе собственных многолетних наблюдений и исследований освещаются предложения по созданию сети особо охраняемых природных территорий в районе окрестностей озера Индер, расположенного на территории Западного Казахстана. Придать природоохранный статус предлагается некоторым участкам карстового ландшафта и пещерам, расположенным на северном и северо-восточном берегах озера Индер. Сульфатный карст в этом районе обусловлен выходом на дневную поверхность древних осадочных пород позд-непалеозойского возраста, поднятых на дневную поверхность вследствие соляного тектогенеза и составляющих верхнюю часть кепрока соляно-купольного массива.

Ключевые слова: *особо охраняемые природные территории, карстовый ландшафт, карстовая пещера, сульфатный карст, озеро Индер.*

ESTABLISHMENT OF SPNA AS A WAY OF PRESERVING THE KARST LANDSCAPES NEAR LAKE INDER AREAS

Golovachev I.V.

*Astrakhan State University, Astrakhan city, Russia
Russian Geographical Society, Astrakhan Branch; bask_speleo@mail.ru*

Abstract: *The article describes proposals for the creation of special protected natural areas near Lake Inder located on the territory of Western Kazakhstan based on own long-term observations and studies. To give nature protection status is offered to some parts of the karst landscape and caves located on the northern and north-eastern shores of Lake Inder. Sulphate karst in this region is due to the emergence of ancient sedimentary rocks of the late Paleozoic age, raised on the day surface due to salt tectogenesis and forming the upper part of the keprok salt-dome array.*

Keywords: *special protected natural areas, karst landscape, karst cave, sulphate karst, Inder Lake.*

Озеро Индер находится на территории Индерборского района Атырауской области Республики Казахстан. На северном и северо-восточном берегах озера развит сульфатный карст, обусловленный выходом на дневную поверхность древних осадочных пород пермского возраста. Карстующиеся породы подняты на дневную поверхность вследствие соляного тектогенеза и составляют верхнюю

часть кепрока соляно-купольного массива. Поверх них залегают отложения кепрока мощностью около 60 м, представленные толщей элювиального гипса (eIP₂-Q). В физико-географическом отношении Индерский солянокупольный район выделен как обособленный ландшафтный округ в составе Урало-Эмбенской плоско-равнинной пустынной провинции [3].

Карст района озера Индер относится к Индерско-Эмбенскому карстовому округу Западно-Прикаспийской карстовой провинции Нижневолжско-Уральской карстовой области Восточно-Европейской карстовой страны. Карстовое поле Индерских гор является крупнейшим в Прикаспийской низменности. Общее число карстовых форм достигает 5000. Плотность поверхностных карстовых форм достигает 200-300 шт./км² [3].

Исследованием карста и пещер в окрестностях озера Индер с 2011 года и по настоящее время занимается секция спелеологии и карстоведения Астраханского отделения Русского географического общества [1]. На основании проведённых экспедиционных работ были подготовлены предложения по организации сети особо охраняемых природных территорий, с целью сохранения карстовых ландшафтов и объектов.

В том числе предлагается придать статус памятников природы пещерам: Колодец Одноглазый, Утемис-Кстау, Ледяной папоротник, Курпоскат, Дырявый мешок-1 и Дырявый мешок-2, являющимся наиболее интересными и ценными, а также участку голого сульфатного карста, расположенному в районе урочищ Кызылжыра и Киздыкара.

Пещера Колодец Одноглазый представляет собой карстовый колодец, выходящий в карстовый грот. Сечение колодца овальное. Горловина колодца имеет размеры 10 м×4 м, в средней и нижней части – 6-5 м×1 м. Максимальная глубина его до 29 м. У самого дна колодец переходит в большой грот, имеющий высоту до 6 м, ширину около 11 м и длину около 13 м. Потолок и стенки грота во многих местах выложены красивым оптическим гипсом. Посреди грота под колодцем располагается конус обвальных отложений высотой до 4-5 метров, занимающий всю площадь дна грота. Пещера представляет собой «холодовой мешок». На дне колодца до середины лета лежит фирновый снег и лед, поэтому местные жители используют такие колодцы как холодильники.

Границы памятника природы «Пещера Колодец Одноглазый» должны охватывать прилегающую поверхность вокруг горловины колодца радиусом не менее 50-60 м! Требуется не большая зачистка от мусора на дне колодца и на поверхности вокруг его горловины.

Пещера Утемис-Кстау (от казах. «Отемис кыстау» - «зимовка Отемиса») находится в центре крупной карстовой котловины, расположенной в восточной части Индерского поднятия. Котловина имеет округлую в плане форму. Её диаметр около 400 м. Дно котловины плоское сильно осложнённое карстовыми провалами, просадками и эрозионными формами. Один из карстовых колодцев в котловине имеет глубину до 9 м.

Пещера горизонтальная, проходная, выработанная в гипсах. Она располагается вблизи от дневной поверхности. Пещера имеет протяжённость – 70 м, площадь – 60 м², объём - 120 м³. Утемис-Кстау – проходная пещера. У неё два входа,

различных по размеру и морфологии. Основной вход в пещеру наиболее крупный: высота – 3,7 м, ширина – 3 м. Пещера представляет собой хорошо освещённый подземный зал площадью – 24 м², объёмом – 45 м³ и высотой до 1,8-2 м. Зал связан с системой трещин и каналов различных размеров и морфологии. Пещера легкодоступна и часто посещается. Общее экологическое состояние – удовлетворительное. Она перспективна как объект туризма.

Границы памятника природы «Пещера Утемис-Кстау» должны охватывать всю карстовую котловину, в которой расположена пещера. Требуется не большая зачистка от мусора, как в самой пещере, так и в котловине.

Пещера Ледяной папоротник наиболее крупная пещерная полость, находящаяся в восточной части карстового поля. Пещера была найдена и обследована астраханскими спелеологами в 2015 году [2]. Она начинается вертикальным входным колодцем глубиной до 14,0 м, на стенках которого произрастает папоротник Пузырник ломкий (*Cystopteris fragilis* (L.) Bernh.).

Протяжённость пещеры 210,0 м, глубина от поверхности 25,0 м, площадь 280,0 м², объём около 1200,0 м³.

В пещере имеется многолетняя слоистая наледь высотой до 2,7 м, шириной до 1,5 м и длиной до 4,7 м, и общим объёмом около 20,0 м³. Наледь является эпицентром холода в пещере. Это первая подземная многолетняя наледь на территории Северного Прикаспия [2, с. 14]!

Особенностью отложений данной пещеры является наличие широкого спектра криогенных, а также вторичных кристаллических образований и кристаллов автохтонных минералов: гипс – CaSO₄×2H₂O; мирабилит - Na₂[SO₄]×10H₂O; улексит - NaCa[B₅O₆(OH)]×5H₂O; кальцит - CaCO₃, тенардит – Na₂[SO₄], глауберит - Na₂Ca(SO₄)₂, целестин - SrSO₄, индерит - Mg[B₃O₃(OH)₅]·5H₂O [4]. Обнаруженное в пещере Ледяной папоротник проявление индерита как вторичного минерала пещер является первой находкой в мире [4, с. 189]!

Осенью 2017 года было найдено подземное соединение пещеры Ледяной папоротник с расположенной по близости пещерой Курпоскат.

Пещера Курпоскат генетически связана с пещерой Ледяной папоротник и образует с ней единую систему. Вход в пещеру располагается в основании северо-западной стенки карстовой колодцеобразной воронкой глубиной 9,0 м. Пещера представляет собой набор трещин обработанных карстовыми процессами. Протяжённость пещеры – 76,0 м, глубина пещеры от входа – 16,0 м, глубина от уровня поверхности – 25,0 м, площадь – 38,0 м², объём – 120,0 м³. В пещере имеется небольшой каминообразный зальчик «Сталактитовый» (высота – 6,5 м, площадь – 6,0 м², объём – 32,0 м³), в котором на своде растут гипсовые сталактиты длиной до 10,0-15,0 см, а стены обильно украшены белесыми гипсовыми корами вторичной кристаллизации и щётками мелких прозрачных кристаллов гипса.

Границы памятника природы «Пещера Ледяной папоротник» должны охватывать прилегающую поверхность вокруг воронок (с входами в пещеры Ледяной папоротник и Курпоскат) радиусом не менее 100-150 м! Территория не требует зачистки от мусора.

Пещера Дырявый мешок – I представляет собой крупную нисходящую мешкообразную полость в дальней части, которой через низкий лаз можно попасть в

узкие водоотводящие каналы и трещины. Вход в пещеру имеет размеры 4 м × 4 м. Протяжённость пещеры 24,0 м, глубина от поверхности 17,0 м, глубина от входа 5,0 м, площадь 52,0 м², объём 220,0 м³. Пещера прекрасно освещается в дневное время, благодаря крупному входу. Экологическое состояние пещеры удовлетворительное. Она перспективна как объект туризма.

Пещера Дырявый мешок – 2 представляет собой нисходящую мешкообразную полость в дальней части, которой низкий лаз выводит в длинный сырой и грязный водоотводящий канал с небольшими камерами-расширениями. Протяжённость – 87,0 м, глубина пещеры от входа – 10,5 м, площадь – 145,0 м², объём – 165,0 м³. Пещера прекрасно освещается в дневное время, благодаря крупному входу (ширина 4,5 м, высота 2,1 м). Экологическое состояние пещеры удовлетворительное.

Пещеры Дырявый мешок – 1 и Дырявый мешок-2 располагаются на северо-восточном участке карстового поля в одной и той же карстовой воронке, но в разных её бортах. Пещеры связаны между собой генетически.

Границы памятника природы «Пещера Дырявый мешок» должны охватывать прилегающую поверхность вокруг карстовой воронки радиусом не менее 50-100 м! Территория не требует зачистки от мусора.

Так же предлагается создать памятник природы «Урочище Кызылжыра», который позволит сохранить участок голого сульфатного карста, расположенного между урочищами Кызылжыра и Киздыкара. Здесь гипсовые карстующиеся породы полностью обнажаются на дневной поверхности и подвергаются процессам физического выветривания. Благодаря сочетанию обнажённой выветрелой гипсовой поверхности, с редкой растительностью и с карстовыми формами рельефа образовался участок самобытного карстового ландшафта. Желательно, чтобы границы памятника природы «Урочище Кызылжыра» охватили участок голого карста площадью около 0,5 км². На данной территории требуется небольшая зачистка от мусора.

Кроме памятников природы предлагается создание природного заказника «Индерские горы», охватывающего наименее нарушенные карстовые ландшафты, расположенные в юго-западной части гипсового поля на восточном берегу озера Индер. На этом участке располагаются техногенно не затронутые гипсовые бугры с огромными разрывными карстовыми котловинами естественного генезиса, встречаются бугры поднятые, но ещё не обрушенные, имеется большое количество разнообразных карстовых воронок, наблюдаются открытые разрывные нарушения в гипсовых породах, отмечены гнёзда различных птиц, в том числе степного орла. Кроме того на этом участке имеется пять пещер различного генезиса, морфологии и морфометрии. Участок рекомендуется выделить до самого побережья озера Индер, тогда будет хорошо просматриваться смена микроландшафтов и рельефа. Общая площадь заказника составит около 20,0 км².

Интерес к сохранению природных особенностей этого района проявляет и казахстанская сторона. Так, например, по их инициативе были разработаны положения научного обоснования организации национального парка «Индер» в Республике Казахстан [5]. Ландшафты Индерских гор и озера Индер практически

идеально подходят для организации национального парка. В состав этого природного парка смогут войти предложенные памятники природы и заказник.

Литература

1. Головачев И.В. Пещеры окрестностей озера Индер // Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Симферополь, 3-8 октября 2016 г. / Отв. ред. Кладовщикова М.Е., Токарев С.В. – Симферополь, 2016. – Том 2. – С.171-175.

2. Головачев И.В. Пещера Ледяной папоротник // Спелеология и спелестология. Сборник материалов VII международной научной заочной конференции. – Наб. Челны: НГПУ, 2016. – С. 11-17.

3. Индерский солянокупольный ландшафт – заповедная жемчужина Западного Казахстана: монография / К.М. Ахмеденов В.П. Петрищев, И.В.Головачев, А.Г. Бакиев, Р.А. Горелов, О.Г. Калмыкова, Н.С. Майканов / под ред. Ахмеденова К.М., - Уральск: Зап.-Казахст. агр.- техн. ун-т им. Жангир хана, 2017. – 142 с.

4. Кадебская О.И., Головачев И.В. Характеристика новообразованных минералов в нейтральной микроклиматической зоне пещеры Ледяной папоротник (Казахстан) // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2017. - № 3 (66). – С. 182–191.

5. Петрищев В.П., Ахмеденов К.М. Материалы к созданию национального парка «Индер» в Западном Казахстане // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 47. - Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2017. – С. 187-192.

УДК: 551.44

**ООПТ «КАРСТОВЫЕ ОЗЕРА» – РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЗАКАЗНИК
НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ – ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ОХРАНЫ**

*Медведева Н.А., * Куприянов А.В. ***

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской Академии Наук, Санкт-Петербург, Россия; Medvedeva@binran.ru*

***Комитет по образованию Хвойнинского района Новгородской области, пос. Хвойная, Россия*

Аннотация: В Хвойнинском районе Новгородской области карст развит в западной части, где находится ландшафтный региональный заказник "Карстовые озёра". Весь заказник можно подразделить на три природных комплекса: озеро Городно на севере, озеро Ямное на юге и Молодиленская цепь карстовых озёр в центре. Располагаясь на северо-восточных склонах Валдайской возвышенности, озёра находятся в рельефе конечно-моренных отложений Валдайского оледенения.

Ключевые слова: карст, ландшафтный региональный заказник "Карстовые озёра", Новгородская область.

**«KARST LAKES» – A REGIONAL RESERVE
OF THE NOVGOROD REGION-FEATURES AND PROSPECTS
OF PROTECTION**

Medvedeva N.A., Kupriyanov A.V.

Abstract: Karst is developed in the Western part of the Khvoyninsky district Novgorod region, where the landscape regional reserve "Karst lakes" is located. The whole reserve can be divided into three natural complex of lake Gorodno in the North, lake Jamno in the South and Molodensky chain of karst lakes in the center. Located on the North-Eastern slopes of the Valdai hills, the lake is in the relief of the course-moraine sediments of the Valdai glaciation.

Key words: karst, landscape regional reserve "Karst lakes", Novgorod region.

Хвойнинский район - один из красивейших в Новгородской области. Это настоящий озёрный край. Насчитывается свыше 180 озёр с площадью водного зеркала от нескольких до сотен гектаров. По происхождению они делятся на ледниковые озёра и провальные - карстовые озёра. Ледниковые озёра приурочены к границам стояния ледника и ложбинам стока ледниковых вод. Карстовые озёра так же находятся в долинах ледникового стока, в тех местах, где к поверхности близко подходят карстующиеся породы. На дне этих ложбин возникают провалы и

поноры в результате растворения известняков поверхностными и подземными водами. К ним приурочены карстовые озёра Хвойнинского района: Городно, Берёзо-радинское, Ямное, Молодиленская цепь карстовых озёр и другие. Вокруг озёр образуется множество карстовых воронок, провалов и западин, создающих неповторимый ландшафт. Такое уникальное явление и называется карст, по имени плато Карст в Европе, где широко распространены процессы растворения агрессивной водой известняковых горных пород.

В Хвойнинском районе карст развит в западной части, где находится ландшафтный региональный заказник "Карстовые озёра". Располагаясь на северо-восточных склонах Валдайской возвышенности, озёра находятся в рельефе конечно-моренных отложений Валдайского оледенения. Весь заказник можно подразделить на три природных комплекса: озеро Городно на севере, озеро Ямное на юге и Молодиленская цепь карстовых озёр в центре. Одной из причин такого районирования может быть их принадлежность к разным речным бассейнам. Так, озеро Ямное относится к бассейну реки Мсты, Молодиленские озёра - к бассейну реки Волги, а озеро Городно имеет сток только при максимальном уровне воды в Молодиленские озёра, когда возникает река Новая, а из них - Нижняя Новая в реку Суглица. Озеро Вялец остаётся бессточным. Молодиленская цепь карстовых озёр вытянулась с юго-запада на северо-восток на 18 км. Она включает в себя озёра Долгое, Чёрное (южное), Рогавиц, Крестоватое, Ореховно, Б. и М. Клетно, Съезжее, Дубно, Чёрное (северное), Гридино, Стахина и Карасёва лужи, Беленькое, Тресно, Глухое, Каменик, Клепалище. Карстовые поноры, через которые идёт регуляция уровня воды в озёрах, находятся в озёрах Долгое, Чёрное, Рогавиц, Съезжее. Но, когда уровень воды в них достигает максимальных отметок, все озёра цепи превращаются в единый водоём. Результатом такого подъёма является затопление около 500 га сенокосов и лесов. Наводнение продолжается 3-4 года, а постепенная убыль воды длится ещё несколько лет. Максимальные разливы наблюдались в 1895-1898 г.г. и в 1955-1958 г.г. Напоминают сегодня о последнем наводнении засохшие, отполированные временем сосновые деревья вдоль всей цепи озёр. В последующие годы озёра неоднократно понижали свой уровень. Озёра, имеющие поноры буквально сохали, обнажая дно, а весь водоём рассыпался на вышеперечисленные озёра. С 1991 года озёра имеют высокий уровень (выше среднего 1,6 м) соединившись в единый водоём. А в 2005 году произошло очередное наводнение. Уровень воды поднялся на 2-2,5 м. Произошёл сброс воды из озера Городно в Молодиленские озёра по реке Новая, которая из маленькой речушки превратилась буквально в озеро, затопив всю свою долину и соединив два карстовых водоёма. К 2016 году уровень воды в озерах вновь упал до минимального уровня, обнажив большие участки песчаного дна, а к лету 2017 года вновь поднялся на 3,5 м.

Береговая линия карстовых озёр сильно изрезана, так как вдоль озёр вытянулись конечные морены, озовые гряды, карстовые провалы и воронки, что в сочетании с хвойными лесами придаёт им особую красоту. Особенно живописно озеро Городно, вытянувшееся с запада на восток на 9 км. Его береговая линия то выдвигается в озеро длинными песчаными мысами и полуостровами, то углубляется узкими многосотметровыми и километровыми заливами в лесную глухомань тайги.

Самым великолепным украшением озера являются озовые гряды, иногда круто спускающиеся к урезу воды с высоты 20 м и до самого хребта поросшие корабельным сосновым лесом. В глубине берега рельеф несколько выравнивается, но его ровнинность нарушается провалами разных размеров, имеющими карстовое происхождение. Многие из них наполнены водой и служат убежищем для водоплавающих птиц.

В Европейской части России, кроме Хвойнинского района, карстовые явления в таком обилии и разнообразии более не встречаются. Это связано с тем, что на территории района сложились благоприятные условия для развития карста. Территория находится в зоне избыточного увлажнения, а значит, нет недостатка в воде. Вода благодаря рельефу задерживается озёрами и поглощается карбонатным массивом. Внутри карстующихся пород идёт интенсивная циркуляция воды: этому способствует и древний погребённый карст, и уклон поверхности, обеспечивающий разгрузку подземных вод. Кроме того, на территории района развиты подзолистые и болотные почвы, имеющие кислые почвенные растворы. Происходящие в почве биохимические процессы генерируют углекислоту. А карбонатные породы растворяются практически только в воде, содержащей двуокись углерода или же другие минеральные и органические кислоты. Растительность так же формирует агрессивные свойства воды, существенно влияет на сток и препятствует развитию голого карста. Когда карстовые озёра уходят, их дно покрывается луговой растительностью и в былые годы даже засеивались. Итак, карстовые формы рельефа образуются деятельностью подземных вод там, где имеются растворимые горные породы.

В карстовых формах рельефа преобладают замкнутые отрицательные формы рельефа: поверхностные - воронки, котловины и подземные - колодцы, пещеры. Почва, а также подстилающие её горные породы неравномерно проседают, образуя западины, провалы, которые затем заполняются водой, образуя озёра. Западины - это следы карстовых провалов. Такие воронки располагаются иногда цепочкой вдоль разлома или над горизонтальным карстовым каналом, или над крупной, вытянутой карстовой пещерой. Карстовые провалы на дне озёрных котловин часто имеют крутые склоны, дно, как правило, очень неровное, что вполне естественно при провальных явлениях. и поноры часто образуются в долинах рек, превращая часть такой долины в озеро. Например, озеро Ямное образовалось в долине реки Ситница. Дно её русла достигло поверхности известняков, что способствовало образованию поноры, которая связала реку с подземными карстовыми пустотами, наполненными водой. При переполнении этих пустот излишки подземных вод выходят на поверхность, заливая большие пространства в понижениях рельефа, образуя живописные озёра.

Периодичность ухода воды из карстовых озёр плохо изучена. Одни озёра меняют свой уровень ежегодно или через 2-3 года (оз. Ямное), другие через 5-7 лет (Молодиленская цепь карстовых озёр), третьи - через 25-30 лет (оз. Городно). Это ещё одна загадка природы карстовых озёр. Ведь периодичность ухода одних озёр не совпадает с циклами изменения уровня других, расположенных рядом. Некоторые озёра уходят и зимой. Так озеро Берёзорадинское в 2002 году ушло в октябрь-ноябре независимо от других озёр и продолжало понижать уровень даже после об-

разования льда. Озеро Ямное раньше уходило через 7 лет, затем через 3-4 года и, наконец, ежегодно. Уходит озеро медленно по 15-20 см в сутки в течение примерно двух недель. Иногда и по 50 см. Уходить начинает с середины лета и освобождает свои плёсы в сентябре-октябре, но к началу зимы снова наполняется. Бывают случаи, когда в марте уровень воды снова резко понижается. Столь частые понижения уровня воды приводят к довольно быстрому зарастанию мелководных плёсов тростниковой и кустарничковой растительностью. Летом, освободившиеся от воды плёсы покрываются зелёным ковром сочных трав, ведётся выпас скота. По дну озера прокладываются дороги. Тонкий до 20 см слой ила подстилается крупнозернистыми песками, поэтому дно плотное и не вязкое. Последний раз озеро полностью уходило в 1978 и 1999 годах. В это время от озера остаётся карстовая воронка, наполненная водой, и обнажается довольно глубокое (до 2м) русло р. Ситницы, впадающей в воронку, и р. Ямницы, вытекающей из неё. Последняя в это время пересыхает, а Ситница продолжает тонким ручейком питать воронку. Сама воронка имеет овальную форму до 30 м шириной.

В воронке скапливается огромное количество рыбы. Во время ухода воды из воронки вылавливают от 7 до 20 тонн. Уходит ли рыба в карстовые полости земли сказать трудно. Но вероятнее всего это так. Подземными водотоками озеро Ямное имеет связь с карстовыми ключами в урочище София и у д. Яковищи. Уровень воды в них чутко реагирует на уровень воды в озере Ямном. Во время ухода озера наблюдается появление рыбы в Яковищенских ключах в Мошенском районе, где в другое время рыбы нет. Появление новых видов рыб в озёрах, например линь, пелядь в озере Ямном, так же свидетельствует о том, что рыба кочует по подземным рекам-ходам, которыми соединены карстовые озёра. В начале семидесятых годов на Молодиленскую цепь озёр по заданию Главрыбвода приезжали экспедиции с целью изучения миграции рыбы в карстовых водоёмах. В озёра Съезжее и Вялец были выпущены щуки, окуни, язи, лещи с полиэтиленовыми метками.

Учёные пытались разрешить одну из загадок карстовых озёр: куда деваются рыбы, когда озёра временно "высыхают"- уходят под землю. Ответа до сих пор нет. А ведь выяснение закономерностей в карстовых явлениях имеет как научный, так и практический интерес. В частности, продуктивно вести рыбное хозяйство, использовать плодородный ил дна высохших озёр, беречь лес от затопления и многое другое. Хвойнинский район в этом смысле представляет настоящую лабораторию карстовых явлений под открытым небом.

УДК: 579.64:631.46+551.+796.55

МИКРОБИОТА ГРУНТА ПЕЩЕРЫ АСКИНСКАЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Рябова А.С., Кузьмина Л.Ю., Галимзянова Н.Ф.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия; alenarya@rambler.ru

Аннотация: В грунте ледяной пещеры Аскинская были обнаружены мезофильные и психротолерантные бактерии и 23 вида микроскопических грибов, среди которых также выявлены психротолерантные. Показано, что основными факторами, влияющими на развитие и распределение микроорганизмов в грунтах пещеры, являются особенности микроклимата, морфологии полости, а также поступление инфильтрационных вод и рекреационная нагрузка.

Ключевые слова: ледяная пещера, грунт, бактерии, микромицеты.

MICROBIOTA OF GROUND ASKINSKAIA CAVE (SOUTH URAL)

Riabova A.S., Kuzmina L.Iu., Galimzianova N.F.

Ufa Institute of biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; alenarya@rambler.ru

Abstract: There was detected mesophilic and psychrophilic bacteria and 23 species micromycetes in ground of the Askinskaia cave. Characteristics of microclimate, morphology of cavern, infiltration water and recreational load are characteristics crucial factors influencing on growth and distribution microorganisms in the cave.

Keywords: ice cave, ground, microorganisms, micromycetes.

Ледяные пещеры представляют собой уникальный объект для изучения жизни микроорганизмов в экстремальных условиях низких температур и недостатка питательных веществ.

Пещера Аскинская (Аскынская, Ледяная) – крупнейшая полость Южного Урала мешкообразного типа с максимальной по площади многолетней гидрогенной наледью [3,4]. Благодаря низким температурам, любые изменения в микробных сообществах, вызванные рекреационной нагрузкой, могут способствовать сохранению бактерий и плесневых грибов (в том числе и патогенных), занесенных с поверхности, которые представляют потенциальную опасность для посетителей. За последние годы посещаемость пещеры увеличилась до более 3000 чел/год (неопубликованные данные Ю.А. Туманова).

Пещера Аскинская расположена в 2,5 км к юго-востоку от бывшей деревни Солонцы (Аскын) на восточной части хребта Улутау (Гафурийский район, 54°14'09" с.ш. и 56°54'09" в.д.). Пещера залегает в известняках франского яруса позднего девона (D3fr), она представлена залом со сводчатыми стенами и потолком, длина зала составляет 230 м, амплитуда 34 м, объем 46 400 м³, площадь пола

5 200 м². Глубина ледяных отложений в пещере Аскинская изменяется от нескольких сантиметров до 2 метров, неравномерно нарастая от дальних частей к входу. Примерный объём льда составляет 1478 м³ (без учета льда заключенного в ледяных сталагмитах) [5]. Температура внутри пещеры изменяется от 0°C (июнь) до -0,6°C – 1°C (ноябрь) [2].

Целью работы являлось изучение микроорганизмов грунта пещеры Аскинская.

Пробы грунта отбирали стерильно с глубины 0-5 см из шести точек. На плане пещеры представлены места отбора образцов грунта (рисунок).

Грунт у южной стены находится за пределами тропы, но имеет слой копоти и остатки минеральных кор. У южной стены в ответвлениях тупика, отбирали три образца, эта часть является самой теплой в пещере и не испытывает значимого антропогенного воздействия. Грунт у восточной стены является частью тропы, периодически затапливается. Осыпь у входа (точка отбора расположена в неактивной части осыпи, в стороне от тропы) покрыта сажой, периодически покрывается льдом, нет активного движения воздуха.

Учет численности микроорганизмов проводили методом посева на плотные питательные среды. Гетеротрофные бактерии выделяли на среде мясопептонный агар, олиготрофные – голодный агар (ГА), микромицеты – среде Чапека (гетеротрофные) и ГА (олиготрофные). Инкубацию посевов производили при двух температурных режимах (+7, +28°C). Анализ микробиоты проводили с использованием коэффициент психротолерантности ($K_{\text{П}}$), представляющего собой отношение числа колоний микроорганизмов, выросших при +7°C, к числу колоний, выросших при +28°C [1]. Статистическую обработку проводили в программе Excel 2007, используя критерий Стьюдента при 5% уровне значимости.

Анализ сообщества микроорганизмов в грунтах пещеры Аскинская выявил значительные колебания их численности, зависящие от места отбора образцов (таблица 1). В части образцов выявлено преобладание психротолерантных микроорганизмов (гетеротрофных бактерий в грунте под южной стеной ($K_{\text{П}}$ 3,4), олиготрофных бактерий в тупике точка 2 ($K_{\text{П}}$ 2,6), микромицетов – в грунте под восточной стеной ($K_{\text{П}}$ 1,8) и в тупике точка 3 ($K_{\text{П}}$ 2,8)).

Максимальная численность бактерий обнаружена в грунте тупика юго-восточной стены (точки 1 и 2) (таблица). Полученный результат, вероятно, обусловлен хорошей связью этой части пещеры с поверхностью за счет трещиноватости породы, что способствовало проникновению микроорганизмов с дневной поверхности.

Максимальная численность микромицетов выявлена в грунте под восточной стеной. Этот участок пещеры является самой низкой точкой зала, что способствует стеканию воды при таянии наледи, трещиноватость породы обуславливает действие многочисленных капельников, кроме того, близость тропы способствует проникновению микроорганизмов с поверхности.

В грунте двух участков, расположенных в противоположных концах зала (осыпь точка 6 и точка 5 – под южной стеной) обнаружено минимальное количество микроорганизмов. Полученные результаты обусловлены тем, что обе точки

не испытывают высокой рекреационной нагрузки, кроме того грунт в точке 5 защищен от внешних воздействий минеральными корами.

Таблица 1

Численность микроорганизмов в грунтах (10^3 КОЕ/г)

Место отбора проб		Бактерии		Микромицеты	
		Гетеротрофные	Олиготрофные	Гетеротрофные	Олиготрофные психротолерантные
Тупик	Ответвление влево	14461 ± 382	379 ± 21	2 ± 0,1	0
	Ответвление вверх	11252 ± 195	216 ± 54	0,8 ± 0,1	8 ± 4
	Ответвление вправо	4940 ± 269	1009 ± 32	10 ± 0,3	8 ± 4
Под восточной стеной		3271 ± 206	534 ± 39	12 ± 0,5	16 ± 1,3
Осыпь		1206 ± 34	310 ± 92	2 ± 0,7	0,8 ± 0,1
Под южной стеной		278 ± 17	12 ± 4	7 ± 0,4	8 ± 1

В исследованных пробах грунта были обнаружены 23 вида микроскопических грибов, принадлежащих к 20 родами, стерильные формы и дрожжевые грибы. Микромицеты родов *Acremonium*, *Cladosporium*, *Penicillium* представлены двумя видами, остальные имели по одному представителю. Оценка видового состава показала, что разнообразие психротолерантных грибов несущественно отличается от такового мезофильных видов. Выявлен один вид *A. charticola* – в грунте у южной стены, а также стерильный темноокрашенный мицелий в грунте у восточной стены, которые не отмечались среди мезофилов. Во всех пробах грунта доминировал *Geomyces pannorum*. Исключение составил образец, отобранный с осыпи у входа, где максимальное обилие отмечено для группы дрожжевых грибов. Видовое богатство микромицетов существенно различалось в разных точках отбора образцов – максимальное число видов (12 видов) было выявлено в грунте тупика у юго-восточной стены, а также у восточной стены (10 видов), где была обнаружена максимальная численность олиготрофных психротолерантных микроскопических грибов.

Таким образом, проведенное исследование показало, что микроорганизмы грунта пещеры представлены различными группами бактерий (гетеротрофными и олиготрофными), способными развиваться при низких положительных температурах. Выявление среди микроскопических грибов грунта олиготрофных психротолерантных видов, свидетельствует о их приуроченности к экстремальным условиям ледяной пещеры. Основными факторами, влияющими на развитие и распределение микроорганизмов в грунтах пещеры Аскинская, являются особенности мик-

роклимата, морфологии полости, а также поступление инфильтрационных вод и рекреационная нагрузка.

Литература

1. Кузьмина Л.Ю., Галимзянова Н.Ф., Абдуллин Ш.Р., Рябова А.С. Микробиота пещеры Киндерлинская (Южный Урал) // Микробиология. – 2012. – Т. 81, № 2. – С. 273-281.
2. Кузьмина Л.Ю., Червяцова О.Я., Галимзянова Н.Ф., Рябова А.С. Аэриобиологическое исследование пещеры Аскынской ледяной (Южный Урал). Спелеология и спелестология: сборник материалов V Международной научной конференции (К 100-летию А.В. Рюмина). Набережные Челны: НИСПТР. 2014. - С. 303-310.
3. Пещеры Поволжья, Урала и Предуралья. Статистический справочник / Лавров И.А., Гунько А.А., Цурихин Е.А. и др. – Набережные Челны: НГПИ, 2010. – 71 с.
4. Смирнов А.И., Соколов Ю.В. Карст и спелеология / Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Карст Башкортостана – Уфа: Информреклама, 2002. – С. 301-340.
5. Степанов Ю.И., Тайницкий А.А., Кичигин А.А. Георадарные исследования подземных наледей в пещерах Урала. Комплексное использование и охрана подземных пространств. Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею научной и туристско-экскурсионной деятельности в Кунгурской Ледяной пещере и 100-летию со дня рождения В.С. Лукина. 26-31 мая 2014 г., Пермь, 2014. - С. 65-68.

УДК: 551.44

ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ И ПАВОДКА НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ГРУНТОВ ПЕЩЕРЫ ШУЛЬГАН-ТАШ

Сидорова Л.В.

Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия; sidorova_2001@mail.ru

Аннотация: *Содержание органических компонентов в грунтах, концентрация подвижного фосфора, активного азота и почвенных ферментов связана с нагрузкой на грунты, освещенностью, количеством паводковых вод. Под воздействием рекреационной нагрузки и затопления изменяется активность уреазы, протеазы, инвертазы, пероксидазы и дегидрогеназы.*

Ключевые слова: *пещера, фермент, состав грунтов, рекреационная нагрузка, паводок.*

**THE INFLUENCE OF RECREATIONAL LOAD FLOOD
ON THE GROUNDS MICROORGANISMS AND SURFACE GROUNDS
OF SHULGAN-TASH CAVE**

Sidorova L.V.

Ufa Institute of biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; sidorova_2001@mail.ru

Abstract: *The content of organic components in soil, the concentration of mobile phosphorus, active nitrogen and soil enzymes is associated with load on soil, lighting and the amount of flood waters. Under the influence of recreational load and flooding, the activity of urease, protease, invertase, peroxidase and dehydrogenase changes.*

Keywords: *cave, ensim, composition surface grounds, recreational load, flood.*

Ферментативные комплексы грунтов карстовых полостей представляют собой систему саморегуляции, в которой накопление и упорядоченность действия групп энзимов происходит за счет деятельности микроорганизмов различной природы. Сложность трактовки результатов анализа ферментативной активности грунтов пещер заключается в том, что, ферменты, находясь в поглощенном состоянии, являются металл зависимыми и работают при низких температурах, т.е. ниже оптимума активности. В связи с этими обстоятельствами замедляется разложение и вынос ферментов, может происходить консервация и накопление, активация или дезактивация ферментативного комплекса. В результате могут изменяться соотношения групп микрофлоры. Наличие ферментов может стимулировать накопление и изменение подвижности свободных ионов и определять направленность атомов кислорода к ионам кальция, что может привести к адсорбции кальцитов на стенах и образованию «кальцитовых ручьев» на плоскости пола пещеры.

Целью настоящей работы было определить влияния рекреационной нагрузки и инфильтрационных вод на состояние грунтов пещеры Шульган-Таш.

Особенностями пещеры является наличие восходящего вклюдного источника – р. Шульган, которая определяет заполненность внутри пещерных озер. Наличие Портала площадью 1520 м² высотой 20 м с неоднородной освещенностью пола, наличием оборудованной экскурсионной тропы [4, с. 5].

Отбор проб производили в период паводков в слое 0-3 см в световой зоне портала и зоне подтопления, на экскурсионном маршруте, в закрытых залах пещеры – тропах, местах не подвергающихся вытаптыванию.

Для грунтов определяли водный и солевой рН, С_{орг} по методу Тюрина с окончанием по Орлову и Гриндель, щелочногидролизующий азот по Корнфильду, подвижный и валовой фосфор (мг Р₂О₅/100 г) по Кирсанову и Чирикову, Гинзбург [1, 656 с.]. Активность уреазы (мг N-NH₃ за 3 ч/г) по методу А.П.Щербакова и др. (1987), инвертазы (мг глюкозы за 4 ч/г) по Т.А.Щербаковой (1968), протеазы (мг аминного азота за 24 ч/г) по методу А.Ш. Галстяна (1978) с окончанием по Лоури и др. (Lowry et al., 1951), полифенолоксидазы (мг 1,4-бензохинона за 30 мин. при 30°С/г) по Л.А.Карягиной, Н.А. Михайловой (1986), дегидрогеназы (мг формазана за 24 ч/г) по Ленард (Lenhard, 1956) [5, 179 с.].

В результате исследования грунтов показано, что в центральной части привходовой зоны реакция почвенного раствора несколько выше, чем около стен и в зоне постоянной освещенности (pH_{H_2O}). Тоже касается и потенциальной кислотности (pH_{KCl}), что может характеризовать повышенное содержание $CaCO_3$, Al^{3+} и солей, образованных сильными кислотами на опытных площадках, расположенных рядом со стенами карстовой полости.

По содержанию фосфора наблюдалось увеличение концентрации с возрастанием антропогенного влияния. В привходовой зоне с увеличением освещенности содержание фосфора увеличивается с увеличением содержания органического углерода [3, с. 56] и водорастворимых веществ в почвенном комплексе (сухой остаток).

В зале Рисунков ведутся активные археологические работы. Относительно высокое содержание фосфора в зале и в коре под Северной стеной Зала Хаоса при недостоверной разнице концентраций органического углерода не может трактоваться как следствие высокой антропогенной нагрузки или биологической активностью грунтов. Во-первых: рисунки нанесены охрой и на грунтах и камнях встречаются вкрапления; во-вторых: методическая погрешность опыта возрастает в присутствии железа в ионной форме, которое поступает с инфильтрационными водами и продуктами коррозии металлических конструкций. В Купольном зале низкое содержание фосфора вероятно из-за аномально активного обмена грунтовых вод весной-летом 2017 года.

Литотрофные бактерии и дезаминирующие ферменты определяют круговорот азота в грунте карстовых полостей, превращая его в доступную для питания форму и способствуя накоплению в грунте различных по составу и характеру активности соединений азота и уровня их вовлеченности в биохимические процессы. Зависимость от водного, температурного и воздушного режимов неоднозначна. В стабильных воздушных потоках не наблюдается динамики. Так при постоянном теплом потоке и влажности содержание уреазы (0,068-0,070 мг) постоянное. Это наблюдалось в пещере Таш-килят, которая имеет отдельный вход и связана с пещерой Шульган-Таш сетью трещин. Активность фермента в ступенчатой галерее, где присутствует воздушный переменный поток, выше (0,078-0,081 мг) и приближается к активности почвы в зоне постоянной освещенности центральной части Портала (0,09 мг).

Очень высокий уровень уреазы (1,12 мг), инвертазы, фосфора (551 мг) и, относительно, высоком $C_{орг}$ (0,033 мг), по сравнению с концентрацией в закрытых залах, под решеткой лестницы в ступенчатой галерее, по всей вероятности, спровоцирован органическими загрязнителями и увеличением щелочности грунта. Продукция уреазы почвенными микроорганизмами зависит от наличия субстрата (мочевина, источники H^+ -содержащие углеводы) [7, с. 108-119]. Увеличение уреазы указывает на интенсивную мобилизацию органического азота, значительная часть которого иммобилизуется литотрофами и способствует их активному размножению. Меньшая часть адсорбируется в грунте, особенно активно при пониженных температурах. Адсорбция фермента на глинистых минералах определяется природой адсорбента и природой фермента зависит от pH [11, с. 64-78]. В этой точке отбора грунта наблюдается аномально низкая обменная кислотность. Ад-

сорбируясь, фермент вытесняет катионы (Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) в ППК, сами катионы способствуют адсорбции фермента. Максимальная интенсивность этого процесса идет при 5°C [2, с. 108-119].

В портале с увеличением затемненности падает содержание урезы с 0,081 до 0,067 мг N- NH_4 , рН водный и солевой при этом колеблется в пределах 0,3. Положительная корреляция наблюдается между концентрацией водорастворимых веществ и активностью уреазы и инвертазы.

Наиболее полную характеристику биологической активности почвы дают окислительно-восстановительные ферменты наряду с ферментами класса гидролаз. Гидролазы широко распространены и играют важную роль в обогащении грунтов подвижными и доступными для микроорганизмов питательными веществами, разрушая высокомолекулярные органические соединения. Например, биологическая минерализация различных органических соединений белков, углеводов, жиров и ряда других компонентов, сопровождается накоплением перекиси, разложение которой осуществляется каталазой, которая является индикатором степени окислительных процессов в грунте. Фермент выделяется почвенными микроорганизмами, обладает высокой устойчивостью, накапливается и длительное время сохраняется в почве, в силу чего активность этого фермента может рассматриваться как показатель функциональной активности почвенной микрофлоры [8]. Но необходимо учитывать тот факт, что каталаза обладает большой буферностью и зависит от химической природы реагирующих веществ (субстрат/фермент) и от условий их взаимодействия (концентрация компонентов, рН, температура, состав среды, действие активаторов, ингибиторов и др.). Пероксидаза катализирует окисление полифенолов в присутствии перекиси водорода или органических перекисей. При этом ее роль состоит в активировании перекисей, поскольку они обладают слабым окисляющим действием на фенолы. Далее может происходить конденсация хинонов с аминокислотами и пептидами с образованием первичной молекулы гуминовой кислоты, которая в дальнейшем способна усложняться за счет повторных конденсаций. В пещере Шульган-Таш содержание фермента в различных точках одного зала варьирует от 13-14 мг (зал рисунков, ход Ткачева) до 44,42 мг (зал рисунков, водобойная яма, современный водоток). Интересно, что этот показатель зависит от происхождения вод, проникающих в пещеру. Так активность пероксидазы в зале хаоса, заливаемого паводковыми водами, одного порядка с показателем в бриллиантовом зале и ниже по сравнению с активностью в горизонте С. В зале бездны прослеживается зональность. Количество фермента выше в незагрязненной зоне зала. От антропогенной нагрузки показатель мало зависит и находится в пределах показателей почвообразующей породы над пещерой (горизонт С). Однако, в точке наибольшей загрязненности туристической тропы активность фермента наивысшая.

Показателем антропогенной нагрузки на грунты пещер может служить активность инвертазы. Известно, что активность фермента возрастает с увеличением фракции мелкодисперсных частиц [9, с. 108] Так на тропах активность инвертазы выше в 2-6 раз по сравнению с окружающим грунтам. В Портале уровень активности возрастает в 3 раза от 2,13 до 7,44 мг. При появлении почвенных элементов активность возрастает до 35,33 мг. Вполне возможно, что распределение активно-

сти зависит от интенсивности паводка. В состав фракций входят глинистые минералы (монтмориллонит, каолинит, иллит и др.), способные адсорбировать белки и ферменты [10]. Адсорбируясь на минералах, ферменты вытесняют катионы, насыщающие поглощающий комплекс [2]. В тоже время действия кальция и магния снижают активность в 2-5 раз. Нами показано, что электропроводность грунта падает, а инвертазная активность на поверхности грунта возрастает при удалении от «кальцитовых ручьев».

Активность дегидрогеназы характеризует напряженность окислительно-восстановительных реакций. Дегидрогеназы катализируют удаление водорода из субстрата под действием кислорода. Все группы бактерий, окисляющие углеводороды, обладают высокой дегидрогеназной активностью, за исключением большинства штаммов *Actinomyces* [5]. Водород, отнятый дегидрогеназами в цикле, передается в дыхательную цепь и далее кислороду. При этом на каждые два атома водорода синтезируются три молекулы АТФ. Самую высокую активность показали точки исследований с высокой степенью биологического загрязнения (4,184 мг). Активность фермента при паводковой и антропогенной нагрузке (временные водоемы, площадки около стен, тропы) различна. В «чистых» местах с постоянным восходящим воздушным потоком (Таш-килят) дегидрогеназная активность составляет 0,210-0,232 мг (в зависимости от сезона). В неосвещенной части Портала и на туристической тропе с интенсивным водным потоком из пещеры активность не превышает 0,2 мг. С появлением растительности (мхов) – возрастает до 0,6 мг. При наличии высших растений – до 1,5 мг.

Таким образом, содержание валового фосфора в грунтах является устойчивым показателем, отражающим генетическую принадлежность грунтов и связанным с наличием карбонатности. Ферментативная активность уреазы и инвертазы коррелирует с увеличением освещенности, количеством водорастворимых веществ, количеством инфильтрационных вод и рекреационной нагрузкой.

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв. - М.: Наука, 1975. - 656 с.
2. Звягинцев Д.Г., Великанов Л.Л. Влияние адсорбции ферментов на почвенных частицах и минералах на их активность Сб. докл. симп. По ферментам почвы. - Мн., 1968. - С. 108-119.
3. Кольцова Г.А., Хазием Ф.Х., Габбасова И.М. Фосфатное состояние почв Башкортостана. – Уфа: Гилем, 2001. - 199 с.
4. Ляхницкий Ю. С., Минников О.А., Юшко А.А. Рисунки и знаки пещеры Шульганташ (Каповой): каталог изображений: Альбом. - Уфа: Китап, 2013. – 286 с.
5. Ферменты. / Ред. Браунштейн А.Е. - М., Наука 1964. - 209 с.
6. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. - М.: Наука, 1976. - 179 с.
7. Щербаков А.П., Рудай И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. - М.: Колос, 1987. - 188 с.
8. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. - Мн.: Наука и техника, 1983. - 124 с.
9. Cerna S. Enzymatic activity of soil in relation to its structure. - Acta Univ. Carolina. Biol., 1966, N 2, - P. 83-89.
10. Estervann E.F., McLaren A.D. Stimulation of bacterial proteolysis by adsorbents/ J Soil. Sci., 1959, N10. - P. 64-78.

11. McLaren A.D., Esterman E.F. The adsorption and reaction of enzymes and proteins on kaolinite.- Arch. Biochem. Biophys., 1956, vol. 61. - P. 158-173.

УДК: 551.44

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОТОПНЫХ ПРОФИЛЕЙ УГЛЕРОДА В ПОЧВОПОДОБНЫХ ТЕЛАХ ПОД ФОТОТРОФНЫМИ СОБЩЕСТВАМИ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР

Турчинская С.М.¹, Семиколенных А.А.²

¹*Институт географии РАН, Москва, Россия, turchinskaya@igras.ru*

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, aasemik@list.ru*

***Аннотация:** В подземных карстовых пространствах развивается биота, которая, взаимодействуя с породой, формирует биокосные объекты (почвоподобные тела, «солонды»). Выраженная специфика физико-географических факторов позволяет рассматривать биокосные объекты, в качестве экстремальных вариантов почвообразования, ограниченных по отдельным факторам. В данной работе, методом стабильных изотопов были охарактеризованы некоторые параметры и особенности цикла углерода в подземных карстовых экосистемах на примере фототрофных сообществ и почвоподобных тел под ними.*

***Ключевые слова:** карстовые пещеры, почвоподобные тела, фототрофные сообщества, изотопы углерода, стабильные изотопы.*

THE DETAILS OF CARBON ISOTOPE PROFILES FORMATION IN SOIL-LIKE BODIES UNDER THE COMMUNITIES OF PHOTOTROPS IN KARST CAVES

Turchinskaya S.M.¹ Semikolennykh A.A.²

¹*Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, turchinskaya@igras.ru*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, aasemik@list.ru*

***Abstract:** The biota, that develops in the subterranean karst environment, interacts with the rock and, as a result of this interaction, forms soil-like bodies («soloids»). The specific nature of the physiographic factors allows us to consider these objects as extreme variants of soil formation, that are limited by individual factors. In this paper, certain parameters and features of the carbon cycle in karst caves ecosystems have been characterized by the stable isotope method using the example of phototrophic communities and soil-like bodies below them.*

***Keywords:** karst caves, soil-like body, cave, phototrophic community, carbon isotope, stable isotope.*

Биогеохимические процессы, происходящие в подземных карстовых ландшафтах, могут быть определены как «экстремальные», так как многие экологические факторы лимитированы, отсутствуют или имеют специфический характер [3]. В этих специфических экосистемах в результате взаимодействий между биотой и граничащей с ней минеральной породой идет процесс образования биокосных (почвоподобных) объектов, но он значительно отличается от почвообразования на дневной поверхности.

Метод стабильных изотопов позволил охарактеризовать особенности циклов в подземных экосистемах, а также исследовать влияние локальных факторов на процессы биоминерального взаимодействия [4]. Исследовались автофототрофные сообщества (мхи, водоросли, цианобактерии, папоротники, сосудистые растения) привходовых частей карстовых полостей и сообщества, развивающиеся под искусственными источниками освещения пещер [1, 6], а также почвоподобные тела, формирующиеся под воздействием биоты пещер, представленные трансформированным минеральным субстратом *in situ*. Исследование проведено в подземных полостях, сложенных карстующимися известняками или гипсами, характеризующихся разным уровнем антропогенной нагрузки и расположенных на территории России и сопряженных государств (пещеры: Дивья, Кунгурская Ледяная, Ахштырская, Новоафонская, Красная). Наши первичные данные показали, что стабильные изотопы углерода фитомассы фототрофных сообществ сильно дифференцированы в сторону насыщения «легким» изотопом ^{12}C , вероятно, вследствие относительно замкнутого круговорота углерода (сниженного газообмена с атмосферой) в подземных пространствах и многократной ассимиляции углекислоты. Частично это напоминает, так называемый, «сапору» эффект [5], который многократно усиливается, в подземных экосистемах в сравнении с наземными. Эту гипотезу подтверждает и тренд накопления изотопа ^{12}C в фитомассе и почвоподобных телах по мере удаления от входа пещеры за счет уменьшения циркуляции воздуха. Изменение изотопных соотношений при депонировании фитомассы фототрофных сообществ (только для сосудистых растений) в почвоподобные тела пещер показало смещение в сторону насыщения тяжелым изотопом углерода ^{13}C , что подтверждает известную закономерность для почв на дневной поверхности [2]. Но в ряде случаев, когда источником органического вещества являются сообщества прокариот (цианобактерии) – изотопные соотношения фракционируются в незначительной степени. Вероятно, в этом случае могут существовать почвоподобные системы, где не происходит депонирование углерода в почву и круговорот биогенных элементов зависит от жизнеспособности биоты (рис. 1).

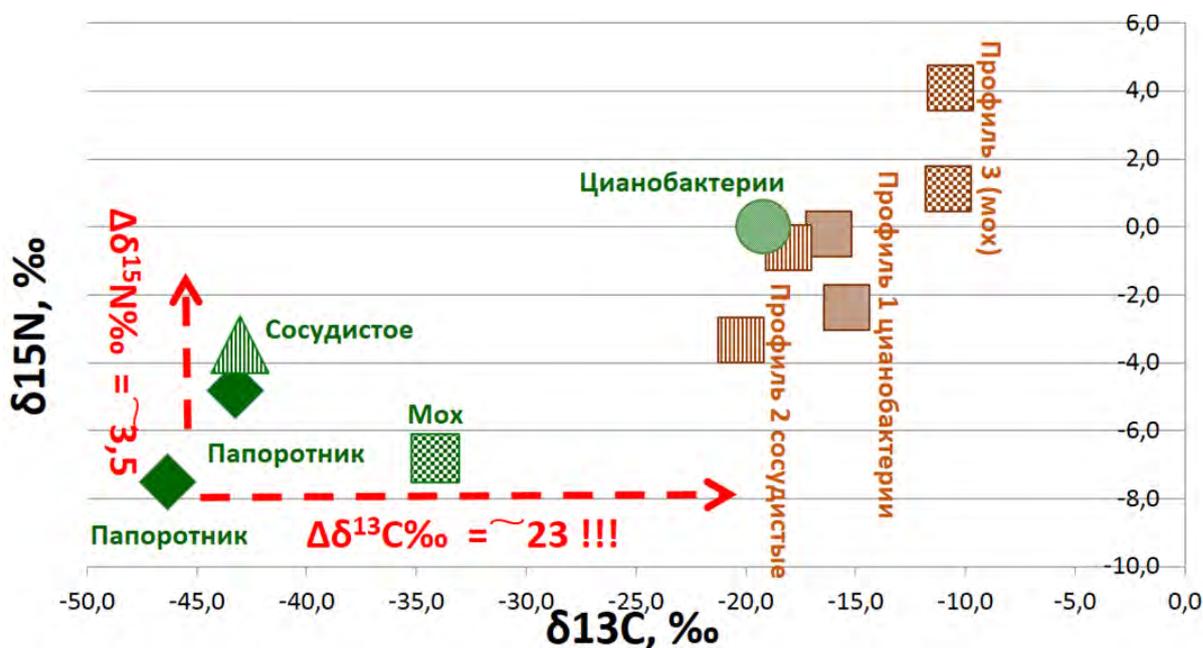


Рис.1. Изменение изотопных соотношений при депонировании фитомассы фототрофных сообществ в почвоподобные тела пещер. (пещ. Ахштырская, Западный Кавказ).

Литература

1. Мазина С.Е. Мохообразные и папоротники в составе ламповой флоры пещер // Юг России: экология, развитие. Т. 11. №3, 2016. - 140-150 с.
2. Макаров М.И. Изотопный состав азота в почвах и растениях: использование в экологических исследованиях // Журн. Почвоведение. №12. 2009. - 1432-1445 с.
3. Семиколенных А.А., Спиридонова И.А., Туюкинна Т.Ю., Пучнина Л.В., Шаврина Е.В., Горячкин С.В. Почвы экстремальных условий. // Экстремальные экосистемы и почвы гипсово-карстовых ландшафтов тайги европейского севера. М.: Изд-во Медиа-Пресс, 2015. - 5-10 с.
4. Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Журн. Известия РАН. Сер. Биологическая. № 4. 2007. - 475-489 с.
5. Brooks JR, Flanagan LB, Buchmann N, Ehleringer JR. Carbon isotope composition of boreal plants: functional grouping of life forms. *Ecologia*. 1997. - 301–311 pp.
6. Mulec J, Kosi G. Lampenflora algae and methods of growth control. *Journal of Cave and Karst Studies*. 71(2). 2009. - 109–115 pp.

УДК: 579.64:631.46+551.+796.55.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБИОТЫ ПРИВХОДОВОЙ ЧАСТИ ПЕЩЕРЫ ШУЛЬГАН-ТАШ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

¹Кузьмина Л.Ю., ¹Галимзянова Н.Ф., ¹Рябова А.С., ²Сайфуллина Н.М., ¹Сидорова Л.В.

¹Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия; e-mail: ljku@anrb.ru

²ФГБУ «Государственный заповедник «Шульган-Таш», дер. Иргизлы, Россия

Аннотация: На формирование микробиоты грунтов привходовой части пещеры Шульган-Таш оказывают влияние особенности морфологии полости и рекреационная нагрузка. Морфологические особенности спелеосистемы обусловили наличие водных источников с периодическими затоплениями и градиента уровня освещения, которые определяют развитие растительного покрова. В афотической части экскурсионного маршрута ведущими факторами, определяющими численность и состав микроорганизмов, являются поступление инфильтрационных вод и рекреационная нагрузка.

Ключевые слова: пещера, микроорганизмы.

SPECIFIC FEATURES OF MICROBIOTA INHABITING ENTRANCE TO THE SHULGAN-TASH CAVE (SOUTH URAL)

¹Kuzmina L.Y., ¹Galimzyanova N.F., ¹Ryabova A.S., ²Saifullina N.M., ¹Sidorova L.V.

¹Ufa Institute of biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian

Academy of Sciences, Ufa, Russia, E e-mail: ljku@anrb.ru

²Shulgan-Tash State Nature Reserve, Irgizly, Russia

Abstract: The specific morphological features of the cavity determining the intensity of illumination and development of the vegetation cover, the presence of water sources capable to cause periodic floods, as well as recreational load influence the formation of the microbiota in the grounds of the Shulgan-Tash cave entrance part. The inflow of infiltration waters and recreational load are major factors determining the number and composition of microorganisms inhabiting in the lightless zone of the tour circuit.

Keywords: cave, microorganisms.

Пещера Шульган-Таш (Капова) – единственная в Восточной Евразии пещера с наскальной палеолитической живописью. Пещера частично открыта для посетителей, экскурсионный маршрут (Портал – Ступенчатая галерея) занимает 19 % от её общей площади. Рекреационная нагрузка в этой зоне может достигать 32 000 чел./год (данные 2014 года).

Экосистема пещеры формируется под воздействием морфологических особенностей привходовой зоны – огромный вход Портал (высотой 20 м, шириной 40

м, и длиной от 23 до 38 м), наличие восходящего воклюзного источника (речки Шульган), питающего два озера (Голубое и Круглое). Огромные размеры входа в пещеру (Портала и Главной галереи) определяют значительное влияние условий на поверхности на микроклимат, аэросреду и грунты сопредельных залов. Освещенность Портала определяет развитие растительности в этой части пещеры; в привходовой зоне проходит граница освещенной и афотической частей. Наличие воклюзного источника приводит к регулярным затоплениям грунтов при весенних и дождевых паводках. Совокупность этих факторов свидетельствует об экотонном характере исследуемого участка.

Целью работы явилось изучение микроорганизмов грунта Портала и сопряженных с ним ближних частей пещеры, а также оценка факторов, влияющих на формирование микробиоты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пещера Шульган-Таш расположена в Бурзянском районе Республики Башкортостан Российской Федерации, на территории государственного природного биосферного заповедника «Шульган-Таш», в бассейне р. Белой. Она сформирована в карстовом массиве на правом склоне долины р. Белой, сложенном массивными известняками визейского яруса нижнего карбона, возраст пород C1v. Пещера представляет собой слабо разветвленную трехэтажную систему карстовых полостей протяженностью 3323 м, амплитудой 165 м и объемом 180510 м³ [4].

Отбор проб производили в 2017 году, в период летнего дождевого паводка (июль) и после его окончания (сентябрь). Образцы грунта отбирали в ближних частях пещеры на протяжении 145 м от входа по градиенту освещенности, а также в зоне экскурсионного маршрута (зал Сталагмитовый и Ступенчатая галерея).

Учет численности микроорганизмов в грунте осуществляли методом посева почвенной суспензии на твердые или жидкие питательные среды. Гетеротрофные бактерии высевали на мясо-пептонную среду, олиготрофные – голодный агар, микромицеты – среду Чапека, литотрофные бактерии: нитрифицирующие – среду Виноградского (I фаза) и Ватсона-Уотерберн (II фаза) [5], тионовые – среду MST (рН 7) [9] с раствором микроэлементов [7] и среду Бейеринка (рН 9), сульфатредуцирующие (СВБ) – среду Постгейт Б [5]. Показатель биохимического потребления кислорода воды определяли стандартным методом [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из мощных факторов, влияющих на формирование микробиоты грунта в освещенной части Портала, является растительность. В 2017 году в этой зоне выявлено 33 вида сосудистых растений (в том числе: смородина черная, дудник лекарственный, луговик дернистый, гравилат речной, герань лесная, подорожник большой, крапива двудомная, которые были описаны и в более ранних исследованиях [3]). Кроме того, обнаружены лишайники, мхи и базидиомицеты. Известно, что мохообразные этого участка представлены 13 видами [2]. Видовое богатство растительности закономерно сокращалось в зависимости от освещенности. При 50 тыс.-2 тыс. люкс на 1 м² поверхности выявлено 19-20 видов высших сосудистых растений, с преобладанием будры плющевидной, подорожника большого, камыша лесного, лапчатки гусиной. С уменьшением освещения до 800 люкс видовое разнообразие сокращается до 11 видов высших сосудистых растений, появляются

мхи. В полутени (200 люкс) обнаружены звездчатка средняя, мхи, лишайники, а в тени (23 люкс) – только одиночные базидиомицеты.

Результаты микробиологических исследований грунтов представлены на рисунке и в таблице. Численность бактерий в грунтах изменялась в диапазоне 4.9×10^5 - 4.3×10^8 КОЕ/г, микромицетов – 4.1×10^4 - 7×10^6 КОЕ/г. Во всех пробах преобладали олиготрофные бактерии.

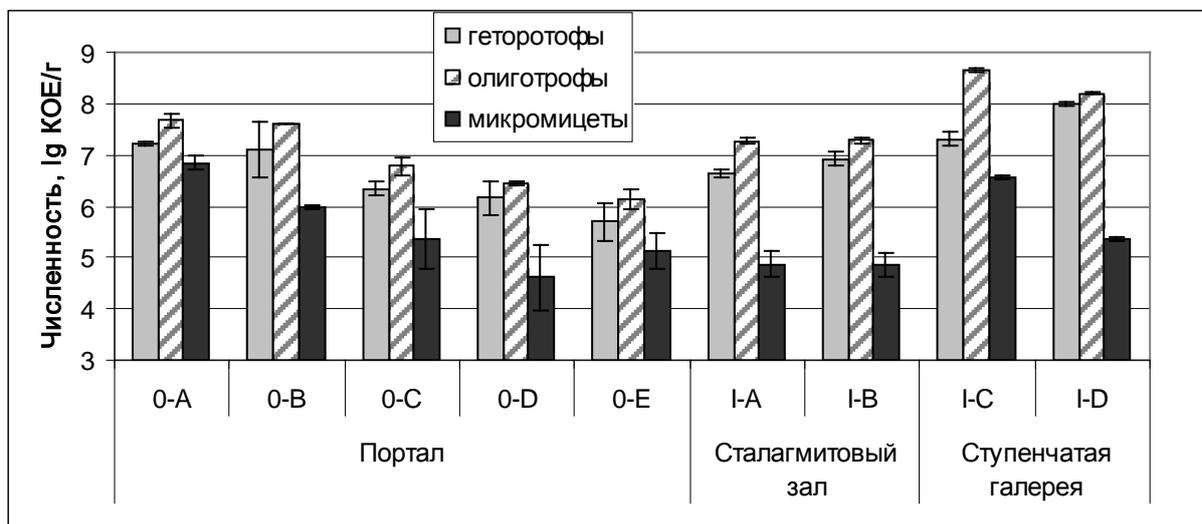


Рис.1. Численность микроорганизмов в грунтах (гетеротрофные, олиготрофные бактерии и микромицеты). Части пещеры: Портал, расстояние от нулевого пикета (0-A – 5 м, 0-B – 7.7 м, 0-C – 10 м, 0-D – 15 м, 0-E – 20 м); зал Сталагмитовый (I-A – под трапами, I-B – Ю-В стена у зоны затопления); Ступенчатая галерея, под лестницами (I-C – первая, I-D – новая).

В зоне Портала максимальное количество бактерий (1.3 - 4.7×10^7 КОЕ/г) было выявлено в грунтах с большим видовым разнообразием растительности (19-20 видов). С уменьшением видового разнообразия растений (11-1 вид) наблюдалось сокращение численности бактерий (4.9×10^5 - 6.0×10^6 КОЕ/г). Изменение количества микромицетов имело сходный характер, оно было максимально (7.0×10^6 КОЕ/г) в самой освещенной части Портала (рисунок).

Анализ численности микроорганизмов в грунтах экскурсионной зоны выявил на порядок большие значения, чем в грунтах освещенной зоны Портала с растительностью. Полученный результат может быть связан с внесением на обуви посетителей грунта с поверхности, содержащего как микроорганизмы, так и субстраты для их развития. Кроме того, погодные условия 2017 года привели к длительному затоплению грунта Портала, что могло способствовать подавлению развития аэробных микроорганизмов. Следует обратить внимание и на разницу в численности микроорганизмов грунта под лестницами разного срока использования в Ступенчатой галерее. Под длительно функционирующей лестницей выявлено больше олиготрофных бактерий и микромицетов.

В исследованных грунтах обнаружены группы литотрофных бактерий – нитрифицирующих, тионовых и сульфатредуцирующих (таблица). Максимальное количество нитрифицирующих бактерий выявлено в привходовой освещенной зоне

пещеры, причем градиенты изменения численности и освещенности совпадали. В афотической части экскурсионного маршрута эта группа бактерий имела существенно меньшую численность.

Таблица 1

Численность литотрофных бактерий в грунтах Портала и ближних частях пещеры Шульган-Таш, КОЕ/г почвы

Части пещеры	Место отбора проб	Нитрификаторы		Тионовые		СВБ
		I фаза	II фаза	pH 6	pH 9	
Портал	5 м*	6780	21094	283	11	60
	7.5 м	1439	3271	33	39	262
	10 м	309	5562	0	4	112
	15 м	558	1860	558	0	248
	20 м	282	107	282	0	102
Зал Сталагмитовый Ступенчатая галерея, лестницы	под трапом	315	57	нд	нд	50
	ЮВ стена, ЗП	32	0			8943
	первая	4259	12788			105
	новая	589	1450			0

Примечание: * – расстояние от нулевого пикета, ЗП – зона затопления, СВБ – сульфатовосстанавливающие бактерии, нд – нет данных.

Во всех изученных образцах грунта обнаружены бактерии, участвующие в цикле серы. Их количество значительно варьирует. Однако следует заметить, что при создании анаэробных условий (зал Сталагмитовый, юго-восточная стена, зона затопления) численность СВБ возросла на 2 порядка, что свидетельствует о значительном микробном потенциале грунта пещеры (таблица).

Важным источником поступления субстратов для развития микроорганизмов в пещерах являются инфильтрационные воды. В воде капельника, расположенного в Сталагмитовом зале, концентрация органических веществ составила 4.9 мгО/л (по показателю биохимического потребления кислорода). Известно, что такая концентрация органических веществ в инфильтрационной воде способна поддерживать рост, например, микроскопических грибов в условиях пещеры [8]. В воде этого капельника обнаружены бактерии и микромицеты, что свидетельствует о важной роли инфильтрационной воды в пополнении не только субстратов для развития, но и пула микроорганизмов пещеры.

ВЫВОД

Таким образом, пещера Шульган-Таш по характеру поступления органического вещества может быть отнесена к фотохемогетеротрофным системам с наличием трех продукционных рядов [1]. Из них два автохтонных (фотосинтез растений в привходовой части, хемосинтез бактерий в афотической зоне), а также аллохтонный (поступление органического вещества извне с инфильтрационной и инфлюационной водой, а также при рекреационной нагрузке).

Проведенные исследования показали, что на формирование микробиоты грунтов привходовой части пещеры Шульган-Таш оказывают влияние морфоло-

гия полости, которая определяет интенсивность освещенности, а следовательно, и развитие растительного покрова, наличие водных источников, способных вызывать периодические затопления некоторых частей Портала, а также рекреационная нагрузка, приводящая к деградации грунта. В афотической части экскурсионного маршрута ведущими факторами, определяющими численность и состав микроорганизмов, являются поступление инфильтрационных вод, а также рекреационная нагрузка.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Агидель», при частичной поддержке гранта РФФИ 17-44-020091 p_a.

Литература

1. Абдуллин Ш.Р. Разнообразие трофической структуры экосистем пещер // Успехи современной биологии. - 2014. - Т. 134, №2. - С. 192-204.
2. Золотов В.И. Баишева Э.З. Флора листостебельных мхов заповедника «Шульган-Таш» // *Arctoa*. - 2003. - V. 12. - P. 121-132.
3. Кучеров Е.В., Попов Г.В., Гуфранова И.Б. Флора и растительность Каповой пещеры // Записки Географического общества СССР. Башкирский филиал. - 1968. - Вып. 5.- С. 106-115.
4. Ляхницкий Ю.С, Юшко АА, Минников О.А. Рисунки и знаки пещеры Шульган-Таш (Каповой). Каталог. - Уфа: Китап, 2013. - 288 с.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. - 304 с.
6. ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений биохимической потребности в кислороде после n-дней инкубации (БПКполн.) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах. М., 1997 (издание 2004). - 34 с. <http://meganorm.ru/Index2/1/4293832/4293832514.htm>
7. Davidson M.S., Summers A.O. Wide-host-range plasmids function in the genus *Thiobacillus* // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1983, V. 46. - P. 565-572.
8. Jurado V., Fernandez-Cortes A., Cuezva S., Laiz L., Cañaveras J.C., Sanchez-Moral S. , Saiz-Jimenez C. The fungal colonization of rock-art caves: experimental evidence. *Naturwissenschaften*. - 2009. - V. 96. - P. 1027-1034.
9. Mukhopadhyaya P.N., Deb C., Lahiri C., Roy P. A sox A gene, encoding a diheme cytochrome c, and a sox locus, essential for sulfur oxidation in a new sulfur lithotrophic bacterium // *J. Bacteriol.* - 2000. - V. 182. - P. 4278-4287.

УДК:551.44

СТРУКТУРА ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАЗЕМНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ПЕЩЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Турбанова А.А.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия; nastenkadolce@mail.ru

Аннотация: Сравнение изотопного состава разных видов животных, представленных внутри сообщества позволяет понять их трофические взаимоотношения и ответить на многие вопросы, связанные с функционированием экосистемы, как отдельно взятого элемента, так и в комплексе с другими биомам. С одной стороны, пещерные экосистемы являются достаточно закрытыми и автономными, зачастую с исторически сложившимися эндемичными сообществами, но с другой стороны они неразрывно энергетически связаны с внешними биотопами. Мы полагаем, что, используя пещеры в качестве несколько упрощенной модельной экосистемы с относительно стабильными условиями окружающей среды и малым числом трофических уровней в сообществах, возможно ответить на многие вопросы, касающиеся функционирования сообществ, как подземных, так и наземных экосистем.

Ключевые слова: пещерные экосистемы, беспозвоночные животные, трофическое фракционирование.

FOOD WEB STRUCTURE OF TERRESTRIAL INVERTEBRATES IN CAVE ECOSYSTEMS

Turbanova A.A.

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Science, Moscow, Russia; nastenkadolce@mail.ru

Abstract: Comparison of the isotope composition of different species of animals within the community makes it possible to understand their trophic relationships and answer many questions related to the functioning of the ecosystem, either as a specific element or in combination with other biomes. On the one hand, cave ecosystems are quite closed and autonomic, with historically established endemic communities, but on the other hand they are inseparably energetically associated with surface biotopes. We believe that using caves as a somewhat simplified model ecosystem with relatively stable environmental conditions and a low number of trophic levels in communities, we can answer many questions concerning the functioning of communities, both underground and terrestrial ecosystems.

Key words: cave ecosystems, invertebrates, trophic fractionation.

Взаимодействие видов – основа функционирования экосистем [3, 4]. Эти отношения являются структурными элементами функциональных экологических се-

тей (например, трофические сети), и понимание их механизмов имеет решающее значение для прогнозирования реакции сообщества на нарушения в экосистеме [5].

Рассматривая пещеру как местообитание различных групп организмов, обычно акцентируют внимание на таких ее физических характеристиках как низкая освещенность, высокая влажность и относительно постоянная температура воздуха. С учетом того, что по мере удаления от дневной поверхности в пещере происходит стабилизация условий и увеличение автономности сообществ, можно утверждать, что отчасти пещерные местообитания близки по своим свойствам к почвенным. Подобные сходства в характеристиках местообитаний в дальнейшем дадут нам возможность сравнивать данные полученные ранее в ходе экспериментов в наземных экосистемах (для почвенных сообществ) и данные, которые будут получены нами в ходе нашей работы (для пещерных сообществ).

Изучение организмов, обитающих в пещерах представляет значительный интерес, поскольку они существуют в особых условиях – при частичном или полном отсутствии света, и, как следствие, при ограниченном количестве пищевых ресурсов, при небольших флуктуациях температурного режима, а также, в полной или частичной изоляции от поверхности. В этих условиях формируются специфические адаптации и образуются эндемичные формы животных, благодаря которым мы можем узнать о возможных эволюционных аспектах жизни на земле и под землей [1, 2].

Используя пещеру как естественную природную, но в тоже время закрытую и достаточно автономную модельную систему мы попытаемся решить ряд экологических вопросов:

1. Зависимость числа трофических уровней от количества доступной энергии: сравнение эвтрофных (гуано), и олиготрофных (ламповая флора) сообществ;
2. Зависимость степени трофической дифференциации видов от биологического разнообразия и обилия ресурсов;
3. Сравнение структуры трофических сетей в условиях лимитации азота (ламповая флора) и его избытка (гуано);
4. Связь между разнообразием и ролью животных в деструкции растительных остатков (эксперимент litter bags);
5. Степень трофического фракционирования изотопов азота при разных базовых уровнях $\delta^{15}\text{N}$ (ламповая фауна – низкий $\delta^{15}\text{N}$; гуано – высокий $\delta^{15}\text{N}$).

Таким образом, основной целью нашего исследования является оценить структурные особенности пищевых сетей наземных беспозвоночных животных, обитающих в пещерах в условиях разной доступности органического вещества.

В ходе проводимых исследований, нами ставились следующие задачи:

1. Исследовать состав населения беспозвоночных в пещерных сообществах, основанных на разных источниках органического вещества (инфильтрационные воды, ламповая флора, гуано летучих мышей);
2. Оценить степень трофической дифференциации видов в «выравнивающих» условиях (нехватка ресурсов, бедность видового состава);
3. Оценить характер трофического фракционирования $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ и длину пищевых цепей;

4. Экспериментально исследовать связь между разнообразием сообществ детритофагов и влиянием животных на скорость деструкции растительных остатков.

В ходе исследований применялись следующие методы:

1. Сбор образцов для сухой и мокрой экстракции животных, установка ловушек, ручной сбор;

2. Проведение изотопного анализа ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) животных и основных субстратов, а также реконструкция структуры трофической сети.

3. Проведение эксперимента с применением litter bag для оценки скорости разложения растительных остатков в пещерах (низкое разнообразие) и в наземных экосистемах (высокое разнообразие).

Принимая во внимание цели нашего исследования, основным в нашей работе является экосистемный подход. Главные аспекты этого подхода для нас – это изучение структурно-функциональных связей пещерных сообществ и потоков вещества и энергии в этой экосистеме. В нашем исследовании пещеры используются в качестве модельных экосистем для решения традиционных вопросов почвенной зоологии и общей экологии (функциональная роль биологического разнообразия, структура и функционирование трофических сетей, принципы разделения трофических ниш). Мы используем этот подход для решения наших задач, поскольку считаем, что пещерные экосистемы как среда обитания отчасти схожи с почвой (по мере удаления от дневной поверхности происходит стабилизация температуры и влажности, увеличение автономности сообществ), но при этом обладают значительно более низким разнообразием, что удобно при построении эксперимента по реконструкции связей в сообществах.

Перед началом работы был проведен тщательный анализ литературных данных. В дальнейшем, было организовано две кавказских экспедиции. В феврале и сентябре 2017 года был собран материал из нескольких пещер (Новоафонская, Адзаба, Большая Казачебродская, Мааникварская, Хабю, Гегская и Лдзаанская). Был проведен сбор субстрата (гуано, ламповая флора и осадочный материал на месте её произрастания), осуществлен ручной сбор животных и сбор животных с помощью ловушек, а также их фотографирование в естественных условиях обитания. Животные, собранные вручную и в ловушках, на месте фиксировались спиртом, субстрат доставлялся в лабораторию в неизменном виде, с целью сохранения живых животных для дальнейшей выгонки.

Весь собранный материал отправляется на лабораторную обработку. Она включает в себя сухую и мокрую экстракцию животных из субстрата (гуано и ламповая флора), разбор животных на систематические группы, статистическую обработку данных (выяснение закономерностей в распределении животных по трофическим нишам, разнообразия и обилия тех или иных групп животных, в зависимости от особенностей местообитания и доступности пищевых ресурсов), реконструкцию структуры трофических сетей по соотношению обилия и биомассы основных трофических групп животных позволит в дальнейшем провести изотопный анализ ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) животных и субстрата, который будет проведен на оборудовании лаборатории изотопного анализа ИПЭЭ РАН (Москва, Россия).

В ближайшее время нами будут проведены эксперименты, позволяющие оценить скорость деструкции опада в разных типах пещерных экосистем (эвтрофные

сообщества с большим количеством органического вещества – пещеры, где присутствуют отложения гуано, олиготрофные сообщества – где присутствует ламповая флора в качестве основного источника органики, и так называемые «стерильные пещеры», жизнь в которых поддерживается в основном за счет привноса немногочисленной органики. Затем, полученные данные мы планируем сравнить с аналогичными данными из наземных экосистем. Это позволит оценить влияние видового разнообразия на скорость разложения органического вещества.

Литература

1. Бирштейн Я.А. Жизнь в пещерах: Эколого-систематический очерк // Успехи современной биологии. - 1940а. - Т. 13, No. 3. - С. 385–402.
2. Бирштейн Я.А. Адаптация и эволюция пещерных животных // Успехи современной биологии. - 1940б. - Т. 14., No. 3. - С. 436–453.
3. Keesing F., Belden L.K., Daszak P., Dobson A., Harvell C.D., Holt R.D., Hudson P., Jolles A., Jones K.E., Mitchell C.E., Myers S.S., Bogich T., Ostfeld R.S. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases // Nature. - 2010. - Vol. 468. - P. 647–652.
4. Kunz T.H., Braun de Torrez E., Bauer D., Lobova T., Fleming T.H. Ecosystem services provided by bats // Annals of the New York Academy of Sciences. - 2011. - Vol. 1223. - P. 1–38.
5. McCann K. Protecting biostructure // Nature. - 2007. - Vol. 446. - P. 29.

УДК:551.44

К ПОЗНАНИЮ ГИПОГЕЙНОЙ ФАУНЫ ОСТАНЦЕВОГО МАССИВА БАБА-ДАГ И ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ В БИОСПЕЛЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ КРЫМА

Турбанов И.С. ^{1,2}

¹Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН, Ярославская область, пос. Борок, Россия; turba13@mail.ru

²Череповецкий государственный университет, г. Череповец, Вологодская область, Россия

Аннотация: Впервые приводятся данные о трогломорфных беспозвоночных животных пещер останцевого массива Баба-Даг (= Мангун), расположенного в Бахчисарайском карстовом районе Предгорно-Крымской карстовой области. В контексте исторической геологии производится реконструкция сценариев проникновения возможных предковых форм трогломорфных беспозвоночных в пещеры массива Баба-Даг, что дает возможность уточнять представления о современном биоспелеологическом районировании Крымского полуострова, сопоставляя его с таковым карстолого-геоморфологическим.

Ключевые слова: трогломорфы, троглобионтные сообщества, пещеры, Крым, историческая геология, биоспелеологическое районирование, карстолого-геоморфологическое районирование.

TO THE KNOWLEDGE OF THE HYPOGEOUS FAUNA OF THE BABA-DAGH OUTLIER MASSIF AND ITS SIGNIFICANCE IN THE BIOSPECIOLOGICAL ZONING OF THE CRIMEA

Turbanov I.S. ^{1,2}

¹*I.D. Papanin Institute of the Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl Region, Russia; turba13@mail.ru*

²*Cherepovets State University, Cherepovets, Vologda Region, Russia*

Abstract: *For the first time the data on troglomorphic invertebrates of the caves of Baba-Dagh (= Mangup) Outlier Massif, located in Bakhchisarai Karst area of Foothill Crimean Karst Region are given. In the context of historical geology reconstruction of possible ancestor forms of troglomorphic invertebrate's ways penetration into the caves of the Baba-Dagh Massif was made, which gives an opportunity to clarify the ideas of modern biospeleological zoning of the Crimean Peninsula, comparing it with karstological-geomorphological one.*

Key words: *troglophes, troglobiontic communities, caves, Crimea, historical geology, biospeleological zoning, karstological-geomorphologic zoning.*

Изучение путей возникновения и формирования пещерных видов и сообществ, а именно, специализированных трогло- и стигобионтов, которые зачастую являются эндемиками различного ранга [1, 2], позволяет, выявив события, предшествующие формированию пещерной фауны и понять причины, заставившие организмы уходить под землю [21].

Соответственно, анализируя современное разнообразие (сходство и различия) эндемичных пещерных комплексов различных карстовых районов Крыма, а также, реконструируя сценарии проникновения в карст возможных предковых форм, мы имеем возможность рассуждать о биоразнообразии в контексте исторической геологии и проводить современное биоспелеологическое районирование полуострова, сопоставляя его с таковым карстолого-геоморфологическим.

Нами предпринята попытка изучить практически ранее неисследованные пещерные сообщества карстовых биотопов Предгорного Крыма. В качестве основного объекта исследования была выбрана верхняя часть останцевого массива Баба-Даг (= Мангуп), который расположен в Бахчисарайском карстовом районе Предгорно-Крымской карстовой области [9], в толще датских мшанковых известняков, подстилаемых меловыми алевролитами маастрихтского яруса, где известен ряд пещер и гротов, среди которых наиболее крупными являются пещеры Мангупская I (= МК-1) и Мангупская II (= МК-2) [11, 12].

Исследование гипогейной фауны останцевого массива Баба-Даг до настоящего времени носило эпизодический характер. Первые указания относятся к троглофильным жукелицам *Laemostenus sericeus tauricus* (Dejean, 1828) (Coleoptera: Carabidae), отмеченным В.Г. Плигинским [18] в неназванной пещере (гроте) массива Мангуп. Однако, по нашему мнению, судя по описанию карстовой полости, вероятнее всего, речь идет о пещере МК-14. Все остальные указания относятся к наиболее крупной пещере данного массива – Мангупская I, для которой указаны

или же из неё описаны, следующие животные: троглофильные двупарноногие многоножки *Trachysphaera costata* (Waga, 1857) (Diplopoda: Glomeridae) [24, 25], троглофильные многоножки-костянки *Lithobius stuxbergii* Sseliwanoff, 1881 (Chilopoda: Lithobiidae) [8], паразитоидные бракониды *Dinotrema kovali* Peris-Felipo et Belokobylskij, 2017 (Hymenoptera: Braconidae) [29], летучие мыши *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800) и *R. ferrumequinum* (Schreber, 1774) (Chiroptera, Rhinolophidae), а также, специализирующиеся на них эктопаразитические иксодовые клещи *Ixodes (Eschatocephalus) vespertilionis* C.L. Koch, 1844 (Acari: Ixodidae) [31].

Все вышеперечисленные животные не отображают зоогеографических связей останцевого массива Баба-Даг с другими карстовыми массивами (районами) Крыма даже в самой незначительной степени. Однако, проведенные нами исследования позволили выявить ряд трогломорфных беспозвоночных животных, что дает возможность провести палеореконструкцию вероятных путей формирования гипогейной фауны данного массива, а также, понять её место в структуре биоспелеологического районирования Крыма.

С нашей точки зрения наиболее интересны следующие трогломорфные беспозвоночные, обнаруженные нами в пещерах массива Баба-Даг: мокрицы *Tauronethes cf. lebedinskyi* Borutzky, 1949 (Crustacea: Trichoniscidae), двупарноногие многоножки *Syrroiulus kovali* (Golovatch, 2008) (Diplopoda: Glomeridae) и вилухвостки-диплюры *Campodea (Dicampa) cf. taurica* Silvestri, 1949 (Diplura: Campodeidae).

Мокрицы *T. cf. lebedinskyi*, ранее известны из пещер Скельская, Энтузиастов, Нассонова (= Анлюша) и Дружба [3, 4, 22], расположенных в западной части Ай-Петринского карстового района [6], заложенных в карстово-эрозионных блоках урочища Карадагский Лес и прилегающих к нему отрогов, которые сложены чистыми массивными верхнетитонскими-нижневаланжинскими известняками [14].

Двупарноногих многоножек *S. kovali*, которых ранее относили к роду *Amblyiulus* Silvestri, 1896, в настоящее время на основе деталей строения гоноподов рассматривают в роде *Syrroiulus* Verhoeff, 1914 [26, 32]. Данный вид ранее указывался для ряда пещер Ай-Петринского и Байдарско-Балаклавского карстовых районов [23, 24, 27], таких как: пещеры Скельская и Дружба, расположенных в западной части Ай-Петринского карстового района, и пещеры Авантюра, находящейся в его северо-восточной части, которые ранее рассматривались как отдельные участки данного карстового района – Западно-Ай-Петринский и Восточно-Ай-Петринский соответственно [10], а также, для пещеры Мамут-Чокрак, заложенной в основании Байдарской яйлы и относимой к Байдарскому участку Байдарско-Балаклавского карстового района [6, 10].

Вилухвостки-диплюры *C. (D.) cf. taurica*, ранее были известны из пещеры Кизил-Коба (= Красная) [19, 30], которая расположена в Долгоруковском карстовом районе [6], а также, были отмечены нами в ряде пещер Ай-Петринского и Карабийского карстовых районов [неопубликованные данные].

Таким образом, обнаружение вышеперечисленных трогломорфных беспозвоночных животных в пещерах останцевого массива Баба-Даг является первой достоверной находкой таковых в пещерах Предгорно-Крымской карстовой области.

Подобное распространение трогломорфных видов в пещерах ныне не связанных между собой карстовых районов Предгорного и Горного Крыма, вероятнее всего, сопряжено с геологической историей полуострова. В плиоцен-раннеплейстоценовое время, по мере освобождения Горно-Крымской карстовой области (Главной гряды) от мел-палеогенового покрова [5, 15] и орографического отчленения в среднем и позднем плейстоцене от неё Предгорно-Крымской карстовой области (Внутренняя и Внешняя гряды) [5, 12] происходило заселение пещер массива Баба-Даг предковыми формами данных видов без последующего аллопатрического видообразования в изолированных популяциях. Данная точка зрения согласовывается с представлениями о геологической истории и возрасте карста Крымского полуострова [5, 7, 9, 16, 17] и в очередной раз подтверждает высказанное мнение о плейстоценовом возрасте троглобионтной фауны [21].

Однако, не исключено, что все три вышеуказанных трогломорфных вида не является специализированным троглобионтами, а скорее всего являются геобионтами или обитателями MSS-биотопов, которые успешно проникают в пещеры Юго-Западного Крыма. Например, все виды двупарноногих многоножек из родов *Syrroiulus* и *Amblyiulus*, которые широко распространены на Кавказе и в ряде других регионов Восточного Средиземноморья, являются исключительно геобионтами [С.И. Головач, устное сообщение], что, вероятнее всего, относится и к *S. kovali*, который к настоящему времени известен исключительно из пещер Крыма.

На основе данных об обнаружении *T. cf. lebedinskyi*, *S. kovali* и *C. (D.) cf. taurica*, мы выделяем останцевый массив Баба-Даг Бахчисарайского карстового района Предгорно-Крымской карстовой области как Мангупский биоспелеологический подрайон Западного биоспелеологического района Горного Крыма, куда входят западная часть Главной гряды от Ай-Петринского карстового района на западе до Бабуганского карстового района на востоке включительно [4, 13, 20, 28, 31, 34], тем самым расширяя и уточняя его границы. Однако, более детальное биоспелеологическое районирование Крыма, на основе распределения трогло- и стигобионтных видов, с последующим выделением подрайонов, возможно будет производить в будущем, по мере накопления новых данных.

Настоящее исследование выполнено в рамках государственного задания ФАНО России (темы No. АААА-А18-118012690106-7, No. АААА-А18-118012690105) и частично поддержано РФФИ (проект No. 17-54 -40017 Абх_а).

Литература

1. Бирштейн Я.А. Жизнь в пещерах: Эколого-систематический очерк // Успехи современной биологии. - 1940. - Том 13, No. 3. - С. 385–402.
2. Бирштейн Я.А., Левушкин С.И. Некоторые итоги и задачи изучения подземной фауны СССР // Зоологический журнал. - 1967. - Том 46, No. 10.- С. 1509–1535.
3. Боруцкий Е.В. *Tauronethes lebedinskyi* gen. nov. et sp. nov. (Isopoda terrestria) из Скельской пещеры в Крыму // Доклады АН СССР. - 1949.- Том 66, No. 3. - С. 487–490.
4. Боруцкий Е.В. Фауна наземных равноногих раков (Isopoda terrestria) пещер Крыма в зоогеографическом аспекте // Зоологический журнал. - 1962.- Том 41, No. 2. - С. 193–202.
5. Вахрушев Б.А. Палеогеография Крыма в свете новейших карстолого-спелеологических исследований // Культура народов Причерноморья. - 2001. - No. 17. - С. 11–18.

6. Вахрушев Б.А. Районирование карста Крымского полуострова // Спелеология и карстология. - 2009. - No. 3. - С. 39–46.
7. Вахрушев Б.О. Кримські гори // Стецюк В.В. (ред.). Рельєф України: навчальний посібник. - Київ: Слово, 2010. - С. 432–485.
8. Волкова Ю.С. Применение ДНК-баркодирования для видовой идентификации троглобионтных костянок (Chilopoda, Lithobiomorpha) // Материалы Всероссийской молодежной конференции «Биоспелеология Кавказа и других районов России» (Москва, 3–4 декабря 2015 г.). Под ред. Турбанова И.С., Марина И.Н., Гонгальского К.Б. Кострома: Костромской печатный дом, 2015. - С. 13–17.
9. Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. - Л.: Наука, 1977. - 183 с.
10. Дублянский В.Н., Ломаев А.А. Карстовые пещеры Украины. - Киев: Наукова думка, 1980. - 179 с.
11. Душевський В.П. Карстові порожнини Внутрішнього куестового пасма Криму // Фізична географія. - 1970. - No. 4. - С. 114–118.
12. Климчук А.Б., Тимохина Е.И., Амеличев Г.Н., Дублянский Ю.В., Шпетль К. Гипогенный карст Предгорного Крыма и его геоморфологическая роль. - Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. - 204 с.
13. Левушкин С.И. Распространение троглобионтных жуков рода *Pseudophaenops* Winkler и зоогеографическое районирование пещерной фауны Крыма // Зоологический журнал. - 1965. - Том 44, No. 11. - С. 1728–1731.
14. Лысенко Н.И. К стратиграфии титон-валанжинских отложений южного борта Байдарской котловины в Крыму // Доклады АН СССР. - 1964. - Т. 159, No. 4. - С. 122–130.
15. Лысенко Н.И. О новой находке отложений нижнего мела на Крымской яйле // Природа. - 2002. No. 1. - С. 2–4.
16. Муратов М.В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. - М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1960. - 207 с.
17. Муратов М.В., Николаев Н.И. Четвертичная история и развитие рельефа Горного Крыма // Ученые записки Московского государственного университета. - 1940. - Т. 48. - С. 65–73.
18. Плигинский В.Г. К фауне пещер Крыма. I // Русское энтомологическое обозрение. - 1912. - Т. 12, N. 3. - С. 503–506.
19. Плигинский В.Г. К фауне пещер Крыма. Сообщение 3 // Русское энтомологическое обозрение. - 1927. - Т. 21, No. 3–4. - С. 171–180.
20. Прокопов Г.А. Биоспелеологическое районирование карстовых массивов Горного Крыма // Зоология. Материалы Всеукраинской XLIII научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов ТНУ им. В.И. Вернадского, секция зоология (Симферополь, 25 апреля 2014 года). - Симферополь, 2014 - С. 15.
21. Прокопов Г.А., Турбанов И.С. К вопросу о формировании спелеофауны Крымского полуострова // Материалы II Всероссийской молодежной конференции «Биоспелеологические исследования в России и сопредельных государствах» / ИПЭЭ РАН им. А.Н. Северцова (г. Москва, 1–2 декабря 2016 г.). - Ярославль: Филигрань, 2017. - С. 99–106.
22. Турбанов И.С. Тавронетес Лебединского *Tauronethes lebedinskyi* Vorutsky, 1949 // Красная книга города Севастополя. Самойлов С.Ю. и др. (ред.). Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. - Калининград-Севастополь: ИД «РОСТ-ДОАФК», 2018. - С. 243.
23. Турбанов И.С. Амблиюлюс Коваля *Amblyiulus kovali* Golovatch, 2008 // Красная книга города Севастополя. Самойлов С.Ю. и др. (ред.). Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. - Калининград-Севастополь: ИД «РОСТ-ДОАФК», 2018. - С. 264.
24. Golovatch S.I. On three remarkable millipedes (Diplopoda) from the Crimea, Ukraine // International Journal of Myriapodology. - 2008. - Vol. 1. - P. 97–110.
25. Golovatch S.I. The millipede genus *Trachysphaera* Heller, 1858 in the Ukraine (Diplopoda: Glomeridae) // Arthropoda Selecta. - 2010. - Vol. 19, No. 1. - P. 1–5.

26. Golovatch S.I. The millipede subfamily Pachyiulinae in Israel, with the description of a new species (Diplopoda: Julida: Julidae) // Zoologicheskii zhurnal. - 2018. In press.
27. Golovatch S.I., Turbanov I.S., VandenSpiegel D. Contributions to the cave millipede fauna of the Crimean Peninsula (Diplopoda), with the description of a new species // Arthropoda Selecta. - 2017. - Vol. 26, No. 2. - P. 103–111.
28. Kolesnikov V.B., Turbanov I.S. The cave-dwelling false scorpion genus *Pseudoblothrus* Beier, 1931 (Arachnida: Pseudoscorpiones: Syarinidae) in the Crimean Peninsula // Zootaxa. - 2018. - Vol. 4374, No. 4. - P. 524–544.
29. Peris-Felipo F.J., Belokobylskij S.A. *Dinotrema kovali* sp. nov., a new species of the genus *Dinotrema* Foerster, 1863 from the cave of the Crimean Peninsula (Hymenoptera: Braconidae: Alysiinae) // Zoosystematica Rossica. - 2017. - Vol. 26, No. 1. - P. 167–173.
30. Silvestri F. Descrizione di due specie nuove cavernicole di Campodeidae (Insecta: Diplura) della regione Monte Tauro // Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria, Portici. - 1949. - Vol. 9. - P. 27–31.
31. Turbanov I.S., Ivanitsky A.N. Horseshoe Bats (Chiroptera, Rhinolophidae) in the southwestern Crimea and problems of their protection // Russian Journal of Theriology. - 2018.- Vol. 17, No. 1. - P. 39–47.
32. Turbanov I.S., Golovatch S.I., VandenSpiegel D. New interesting records of three cavernicolous millipede species from the Crimean Peninsula // Arthropoda Selecta. - 2018. In press.
33. Turbanov I.S., Gongalsky K.B. *Typhloligidium lithophagum* sp. n. (Isopoda, Oniscidea, Ligiidae), a new species of troglolithic woodlouse from the Crimean Peninsula // Zoologicheskii zhurnal. - 2016. - Том 95, No. 11. - С. 1277–1282.
34. Vargovitsh R.S. New Cave Arrhopalitidae (Collembola: Symphypleona) from the Crimea (Ukraine) // Zootaxa. - 2009. - Vol. 2047. - P. 1–47.

СПЕЛЕОТУРИЗМ И ТУРИСТСКО-ЭКСКУРСИОННЫЕ СПЕЛЕОКОМПЛЕКСЫ

УДК: 551.44

**10 ПРОЕКТОВ ПЕЩЕРНЫХ ЭКСКУРСИОННЫХ МАРШРУТОВ
КАРСТОВОЙ ГРУППЫ ВСЕГЕИ-РГО
(СОХРАНЕНИЕ ПЕЩЕР, КАК ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО
НАСЛЕДИЯ И СОЗДАНИЕ ПЕЩЕРНЫХ МУЗЕЕВ)**

Ю.С. Ляхницкий.

ВСЕГЕИ, РГО. Санкт-Петербург РФ. Yuri_Lyahnitsky@vsegei.ru

Аннотация: Статья посвящена проблеме создания экскурсионных пещерных маршрутов – музеев в природе. Приводятся примеры проектов экскурсионных объектов, созданных группой ВСЕГЕИ-РГО на основании концепции регламентированного использования и разработанных нами научно-методических положений. Делается вывод о важности этого направления работ для сохранения пещер, просвещения и, воспитания молодежи.

Ключевые слова: охрана пещер, научно-методические основы музеефикации.

**TEN PROJECTS OF CAVE EXCURSION ROUTES
OF THE VSEGEI-RGS KARST GROUP: CONSERVATION OF CAVES
AS GEOLOGICAL HERITAGE SITES AND TURNING THEM
INTO CAVE MUSEUMS**

Yury Lyahnitsky

VSEGEI, RGS. St. Petersburg, Russian Federation. Yuri_Lyahnitsky@vsegei.ru

Abstract: Paper addresses the issue of elaboration of guided tours in caves – natural museums. Examples of projects of excursion sites created by the VSEGEI-RGS Group based on the concept of regulated use and scientific and methodological provisions prepared by the group are given. A conclusion is made about the importance of this field of work for cave conservation, outreach and education of young people.

Ключевые слова: Cave conservation, scientific and methodological foundations of museumification.

Работы по сохранению объектов геологического наследия и созданию музеев в природе связаны с разработкой и внедрением в жизнь концепции регламентированного использования ООПТ. Они ведутся комиссией карстоведения и спелеологии РГО, под руководством Ю.С. Ляхницкого совместно с группой сотрудников ВСЕГЕИ [2, 3]. Эта проблема разрабатывается нами с семидесятых годов и направлена на спасение пещер, подвергающихся чрезмерному антропогенному прессингу. В ходе этих работ проводится детальное комплексное исследование карстовых систем и старинных горных выработок, разрабатываются проекты ор-

ганизации и обустройства природоохранных экскурсионных центров (ПЭЦ) и ведется их мониторинг. В настоящий момент разработано 10 таких проектов, половина из них осуществлена, и эти объекты успешно функционируют. Первым еще в 90-ых годах был создан Саблинский ПЭЦ. Этот эксперимент успешно завершился - объект благополучно работает до сих пор. Проводятся экскурсии, осуществляется охрана памятника. К сожалению, это перспективное начинание до сих пор не имеет массового системного продолжения, а некоторые готовые проекты не осуществляются в течение многих лет.

1. Саблино. Первым крупным успехом Группы было создание Саблинского природоохранного экскурсионного центра (ПЭЦ) на базе Саблинского памятника природы. Исследовательский этап работ был начат в 1992 г. В ходе работ был собран большой фактический материал, характеризующий территорию памятника и старинные выработки. Исследовались геологические, геоморфологические, геоэкологические, гидрологические, гидрохимические, биологические, ботанические аспекты территории. Проводилось детальное картирование двенадцати «пещер», определялось их горно-техническое состояние, радоновая и радиационная ситуация, микроклимат и т.д. Год спустя совместно с проектными институтами «Урбанистики» и Гипрогор на основании собранного материала и наших предложений был разработан проект обустройства экскурсионного маршрута [4]. Далее начался самый трудный и затратный этап инженерного обустройства. Надо было создать безопасный подземный экскурсионный маршрут в пещере Левобережной и проложить туристические тропы и лестницы на склонах на поверхности. В работах участвовали многие геологи ВСЕГЕИ, наибольший вклад внесли Н.Р. Горбацевич, В.В. Мохов, В.А. Шамахов, а также Юрий Мусатов из Ленинградского Университета. Геологи сами: ставили стальную стоечную крепь на неустойчивых участках, бетонировали оголовки входов, расширяли узкие места в пещерах, сооружали фундаменты под опоры. Из природоохранных фондов нам выделялись небольшие средства, но их не хватало и приходилось проводить экскурсии, чтобы на полученные деньги покупать цемент. Помогали бетоном строители из местной фирмы под руководством А.С. Флегонтова. В 1999 г работы были завершены, и объект был признан готовым для проведения экскурсий. Для проведения экскурсионной деятельности была создана общественная организация «Сохранение природы и культурного наследия». Для контроля проведения экскурсий и состояния объекта, управляющим хозяйственной деятельностью был назначен Н.А. Натальин. Уже 29 лет объект существует на самокупаемости, охраняется, проводятся экскурсии просветительской направленности. Опыт создания и успешного функционирования Саблинского ПЭЦ, по сути – первого в России минигеопарка, доказывает рациональность использования в современных условиях концепции регламентированного использования ООПТ, обеспечивающую надежную охрану объекта и гуманитарную, просветительскую направленность экскурсионного процесса.

2. Капова пещера. Наша группа проводит комплексные исследования, мониторинг динамических параметров пещеры, фиксацию ее уникальной для Восточной Евразии палеолитической живописи с начала 90-ых годов. За это время написано более 30 научных отчетов, опубликованы десятки статей и буклетов, два научно-популярных иллюстрированных альбома и Каталог рисунков и знаков пе-

щеры Шульган-Таш (Каповой). Проведенные работы позволили разработать мероприятия, улучшающие условия сохранения древних рисунков, уточнить их возраст (14 -19 тысяч лет) спроектировать экскурсионный маршрут, не оказывающий негативного воздействия на сохранность живописи. Обычно в пещерах с древней живописью проведение экскурсий невозможно, т.к. это приводит к деградации микроклимата и гибели рисунков. В Каповой пещере нам удалось разработать маршрут, который не наносит вреда живописи. Долговременный комплексный мониторинг позволил доказать, что посещение крупных привходовых полостей до точки микроклиматического барьера не оказывает существенного влияния на ситуацию внутри пещеры. Эскизный проект [1], предложенный нами в 2001г был реализован в инженерном варианте уфимскими архитекторами Р.И. Кирайдтом (2003). Первая очередь маршрута по полу Главной галереи была выполнена в 2005 г. Петербургский художник – анималист В.Ю. Черноглазов создал копии наиболее интересных композиций палеолитических рисунков и маршрут начал действовать. Но он был еще очень коротким и экскурсии не продолжительными. 2008 г была завершена вертикальная часть маршрута, идущая по террасе западной стены Главной галереи в 30 м над ее полом. Это значительно улучшило маршрут, он стал протяженнее, значительно более зрелищным, эмоциональным и интересным. Сейчас в летнее время он действует очень активно, пещеру посещают десятки тысяч туристов.



Рис.1. Вид с верхней площадки обзора на Главную галерею Каповой Пещеры.

3.Воронцовская система пещер.

Исследование Воронцовской системы пещер проводится Секцией спелеологии ЛГИ с 60-ых годов (теперь университет «Горный»). За это время благодаря открытиям спелеологов пещера стала одной из крупнейших в России. Совместно с Сочинским отделением РГО (Н.В. Диденко и др.) в 1989 г был разработан проект создания экскурсионного маршрута от Грота Прометея до Пантеона, который

осуществлен коммерческой группой. К сожалению, работы были проведены без нашего участия и не строго по проекту. Организаторы маршрута планировали ряд мероприятий, которые грубо нарушали природоохранное законодательство и могли нанести непоправимый вред объекту. Благодаря нашему вмешательству, в рамках президентской программы «Интеграция» (1999-2000 гг.) удалось остановить этот процесс и минимизировать негативные последствия обустройства маршрута. Кроме того, эти спелеологические исследования, позволили получить новый ценный материал по карсту Воронцовского района, способствовали росту профессиональной подготовки студентов – геологов. В ходе работ мы контролировали выполнение арендаторами регламента использования пещеры.

4. Староладожская пещера - небольшая камерно-столбовая старинная выработка исследовалась нами еще в 90-ых годах. Позднее, в 2004 г., совместно с маркшейдерским институтом - ВНИМИ (Ю.П. Коренной) был разработан проект оборудования ее для экскурсионного использования. Проект предусматривает сооружение входа, экскурсионной тропы и системы регулировки стока вод из пещерного озера. Планируется осуществлять охрану соседней крупной пещеры Танечкиной, в зимний период, когда в ней проводят спячку тысячи летучих мышей. К сожалению, готовый, согласованный проект так и не был осуществлен из-за отсутствия средств и противодействия чиновников. Это способствует ухудшению условий зимовки рукокрылых - последней крупной популяции на С-З РФ и дальнейшей деградации пещеры.

5. «Святая» пещера находится в 60-ти км. к югу от Санкт-Петербурга, на восточной окраине пос. Рождествено Гатчинского района Ленинградской области на левом обрывистом берегу правого притока р. Оредеж – «Грязновка» в километре к востоку от усадьбы-заповедника Набокова. Это псевдокарстовая суффозионно-эрозионная пещера длиной 126 м и амплитудой – 6 м. Она обследовалась с 1984 года спелестологами (Александр Асташенко и др.), которые расширили некоторые лазы и сделали возможным проникновение в дальние обвальное-осыпные залы. В 2006 г. наша группа РГО (Юрий Ляхницкий, Антон Юшко, Игорь Хлебалин, Илья Агапов) провела комплексные исследования пещеры, составила рекомендации по регламенту использования и организации охраны для администрации Музея – Заповедника «Усадьба Набокова». Это очень интересный и ценный в научном отношении объект - одна из крупнейших псевдокарстовых пещер России. Пещера создана водными потоками в красных ожелезненных мелкозернистых кварцевых песчаниках живецкого яруса девона. Входная арка имеет треугольную форму, шириной 5 м и высотой 4м. Это – слаборазветвленная, в дальней части – лабиринтовая, горизонтальная система полостей. Название пещера получила из-за находок в ее ручье крестиков, монеток и др. предметов. По результатам исследования была составлена заявка на формирование ООПТ, но поддержки властей она не получила. Пещеру показывают во время проведения экскурсий по парку усадьбы.



Рис.2. Святая псевдокарстовая пещера в Рождественно.

6. Музей геологии, спелеологии и горного дела был создан в действующем крупном горном руднике, по добыче гипса, вблизи Арзамаса. По нашему проекту были обустроены крупные отработанные камеры, где разместились экспозиции посвященные отработке гипса, минералогические коллекции, скульптуры древних животных, муляжи карстовых натечных образований, копии пещерной палеолитической живописи, подземного лагеря спелеологов и т.д. Музей пользуется большой популярностью у Арзамасцев.

7. Борнуковская пещера находится в Нижегородской области на р. Пьянее. Когда-то это был огромный живописный гипсовый грот, описанный геологами и путешественниками (Палас, Докучаев и т.д.). В советское время он был взорван под предлогом облегчения свода. Сейчас от него осталась реликтовая щелевая полость между фрагментом свода, стены и огромным завалом, оставшимся после взрыва. Позже участок объявили ООПТ. Обследовав объект, изучив литературные источники и воспоминания очевидцев, мы предположили, что в глубине массива должен был сохраниться второй «Темный» зал. Геофизические работы подтвердили это. Мы составили, проект, который предусматривает вскрытие этого зала штольной и организацию экскурсионного маршрута. К сожалению, средств на его реализацию пока не нашлось.

8. Пещера монастыря Михайло-Афонской Закубанской пустыни находится в Адыгее, в 14 км к северу от поселка Ходжох (Каменомостский) вблизи монастыря на абс. высоте приблизительно 850 м в лиственном буковом лесу. Работы проводились по договоренности с настоятелем монастыря. Пещера представляет собой плоский слаборазветвленный лабиринт протяженностью 148 м, с одним современным, двумя заваленными входами и залом (13x9 м). Полости пещеры приурочены к нижнемеловым слабо сцементированными песчаниками, алевролитами, глинами, гравелитами и конгломератами готеривского и баремского ярусов свиты Губс. Мы провели работы по чистке от заколов свода зала, вскрытию второго заваленного входа, составили проект дренажа и укреплению свода зала, но полностью осуществить проект не удалось, по независящим от нас причинам.

9. Ледяная Аскынская пещера находится в Архангельском районе Башкортостана, на левобережье р. Аскын. Это крупный зал длиной 230 м, и высотой 15 м замечательный своими многочисленными ледяными натеками. Входное отверстие расположено в основании скального крутого склона карстового массива. Пол пещеры покрыт крупным плоским многолетним ледником, на котором высятся несколько массивных конических ледяных сталагмитов и сталагнат (колона) диаметром до 5 м и высотой до 15 м. Это очень красивый объект, к сожалению, в условиях неконтролируемого посещения микроклимат пещеры стал изменяться и лед таять. Для сохранения ледяного убранства пещеры необходимо сохранения холода, регламентация туристического процесса. Совместно со спелеологами РГО Башкортостана (Юрий Соколов, Юрий Туманов и др.) разработан проект обустройства маршрута, который сейчас осуществляется.

10. Горный парк «Рускеала», образованный на базе ООПТ «Рускеальский мраморный карьер», является одним из самых ценных объектов геологического наследия на северо-западе РФ, старейшим месторождением мрамора (XVII век). Он находится в Северном Приладожье, в 40 км от Сортавалы. В 1817 году Огюст Монферран - приезжал в Рускеалу и выбирал сорта мрамора для строительства Исаакиевского собора. Наиболее интенсивно мраморы разрабатывались в 1820-1830-е годы. За сотни лет добычи мрамора было выработано несколько карьеров, в том числе - Главный, длиной около 370 м. В настоящий момент они затоплены. При первичном обустройстве туристического маршрута вокруг карьера была сооружена экскурсионная тропа. Мы предложили использовать подземное пространство месторождения – две штольни и крупный обводненный «Большой зал». Группа провела комплексное обследование объекта. Олег Минников и Игорь Хлебалин выполняли топографические работы. Было определено положение взорванного южного конца штольни на глубине восьми метров у дороги Монферрановского карьера, Юрий Ляхницкий осуществлял общее руководство, геологические, гидрологические, геоэкологические, микроклиматические и др. исследования. Игорь Борисов провел исторический обзор, Антон Юшко – фотодокументацию. Далее Ю.С. Ляхницкий и Ю.П. Коренной (Межотраслевой научный центр «ВНИМИ») разработали проект подземного экскурсионного маршрута [5]. Он предусматривал разбор двух крупных завалов в штольнях, сооружение бетонных оголовков на входе в штольни и оборудование наплавной экскурсионной тропы на понтонах в обводненном «Большом» зале. Средства для осуществления проекта

выделила фирма «Колмас Карелия». Сложную и трудную работу по проходке завала в штольне у Большого зала в январе 2014. провели спелеологи комиссии РГО, Олег Минников и Игорь Хлебалин, имеющие большой опыт подобных работ в пещерах. В апреле 2014 г мощным экскаватором, как и предполагалось, на глубине 8 м был вскрыт вход штольни на поверхность, началось сооружение по особой методике сложного оголовка на входе в Большой зал. После его окончания был сооружен оголовок на входе в штольню и наплавная тропа на понтонах в Большом зале. Маршрут начал действовать в марте 2017 г и пользуется очень большой популярностью у туристов. На Казанском экологическом форуме (2018 г) маршрут был признан лучшим в России и является одним из лучших в Европе.



Рис. 3. Большой зал Рускеалы с наплавным маршрутом зимой.

Проведенные нами работы по проектированию «пещерных музеев», подземных экскурсионных маршрутов, убедительно показывают, что это наиболее позитивный, адекватный путь к спасению интенсивно посещаемых пещер, привлечению к спелеологии, воспитанию, в духе любви к природе молодого поколения. Создание таких природоохранных, экскурсионных центров имеет большое природоохранное, социальное значение и этот позитивный опыт надо широко использовать в практических работах на территории России.

Литература

1. Ляхницкий Ю.С. Шульганташ (иллюстрированный альбом по Каповой пещере). Уфа: Китап, 2002.- 200 с.
2. Ляхницкий Ю.С. Проблема охраны и использования объектов геологического наследия на примере Ленинградской области и других регионов России. // Региональная экология. РАН., С-Пб. – 2006 - № 3 -4 (27). - С.105 – 113.
3. Ляхницкий Ю.С. Проблема охраны и использования объектов геологического наследия России. //Региональная геология и металлогения. -С-Пб: ВСЕГЕИ - 2006. - № 29. - С. 133-148.
- 4 Ляхницкий Ю.С., Наталин Н.А., Слепнева Т.Н. С.-Пб. Иллюстрированный альбом «Саблино – неизвестная страна». – 2007. - 199 с.
5. Ляхницкий Ю.С., Коренной Ю.П. Проект обустройства подземных горных выработок на туристском объекте «Горный парк Рускеала» для регламентированного экскурсионно-туристического использования. (Договор № ДН-038-13), (Фонды комиссии Карстоведения и спелеологии РГО С-Пб). - 2013. - 77 с.

УДК: 338.48(470)

РАЗВИТИЕ ПОДЗЕМНОГО ЭКСКУРСИОННОГО ПРОСТРАНСТВА: ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ

Козлова Н.Н., Наумкин Д.В., Кобелев А.Ю.

ООО «Сталагмит-Экскурс», Кунгур, Россия; stalagmit@kungurcave.ru

Аннотация: В статье рассмотрено развитие экскурсионного обслуживания посетителей знаменитой Кунгурской Ледяной пещеры. От длительной эксплуатации обзорной экскурсии по пещере (на протяжении десятилетий) в настоящее время предприятие перешло к созданию широкого спектра тематических экскурсий, дается их краткое описание. Подчеркивается, что дальнейшее развитие экскурсионного обслуживания туристов должно идти по пути вовлечения в экскурсионный оборот припещерных территорий, в первую очередь Ледяной горы.

Ключевые слова: Кунгурская Ледяная пещера, тематические экскурсии.

DEVELOPMENT OF UNDERGROUND EXCURSION SPACE: FROM THE PAST TO THE FUTURE

Kozlova N.N., Naumkin D.V., Kobelev A.U.

"Stalagmit-Excursus", Kungur, Russia; stalagmit@kungurcave.ru

Abstract: The article considers the development of excursion services for visitors to the famous Kungur Ice Cave. From the long operation of the sightseeing tour of the cave (for decades), the enterprise has now moved to creating a wide range of thematic excursions, giving a brief description. It is emphasized that the further development of excursion services for tourists should go along the path of involving in the excursion turnover of the priperated territories, first of all Ice Mountain.

Keywords: Kungur Ice cave, thematic excursions.

Кунгурская Ледяная пещера – широко известный памятник природы и популярный объект туризма – расположена в юго-восточной части Пермского края, на окраине старинного города Кунгур. Это одна из крупнейших гипсовых пещер России. В первых гротах среднегодовые температуры имеют отрицательные значения, здесь круглый год сохраняются ледяные образования, представленные слоистыми льдами, сталагмитами, сталактитами и кристаллами.

Кунгурская Ледяная пещера – старейшая экскурсионная пещера нашей страны. С 1914 г. в ней ведется массовая экскурсионная работа. Сегодня она относится к уникальным для России туристским объектам и имеет определенную известность за рубежом. С середины XX века здесь сложилось тесное сотрудничество науки и туризма, что выгодно отличает пещеру от других экскурсионных пещер на территории бывшего СССР. Это – вдохновляющее пространство, как для ученых, так и для десятков тысяч туристов, посещающих подземный лабиринт.

Экскурсионное подземное пространство понимается нами как туристическая часть Кунгурской Ледяной пещеры, электрифицированная и подготовленная для посещения туристами, которые осваивают ее с помощью экскурсовода в процессе экскурсии. Именно для этой традиционно используемой экскурсионной части пещеры в течение нового столетия нами разработано 10 тематических экскурсий и две экскурсионные программы, посвященные главным христианским праздникам – Рождеству и Крещению.

Первый этап в развитии экскурсионного пространства пещеры связан с именем ее первого экскурсовода и хранителя – А.Т. Хлебникова. Не являясь профессиональным ученым, он впервые начал популяризацию научных знаний о подземном мире в ходе проведения экскурсий по пещере. Его экскурсии отличались ярко выраженным индивидуальным подходом к посетителям – для разных возрастных и социальных категорий он находил свои методы работы и особые приемы, стремясь к формированию максимально положительного восприятия пещеры людьми.

1950-60-е годы – это период, когда посещаемость пещеры росла в основном за счет ее естественных аттрактивных качеств, привлекающих людей, способных оценить природную красоту, «романтиков», имеющих определенные спортивные и туристские навыки. Это связано с почти полным отсутствием обслуживающей припещерной инфраструктуры, труднодоступностью пещеры, к которой не было подъездных путей.

Сложившийся экскурсионный маршрут (от входа до Большого подземного озера) на целые десятилетия определил тот образ, который оставался в памяти посетителей пещеры. Обзорная экскурсия длительное время была единственным предлагаемым турпродуктом. Несмотря на ее многоплановость, уже с 1970-х годов ощущается потребность в разработке тематических экскурсий, которые освещали бы какие-то отдельные темы, или полнее учитывали возрастные особенности экскурсантов. Но в условиях массового «профсоюзного» туризма, захлестнувшего пещеру в 1970-80-е годы, разработка тематических экскурсий шло крайне медленно. До 2000 г. единственной, по большому счету, тематической экскурсией было новогоднее представление «В гости к дедушке Морозу».

На современном этапе, в условиях коммерциализации экскурсионного дела в пещере, и одновременного снижения ее аттрактивных свойств (прогрессирующее потепление) проблема привлечения посетителей становится с каждым годом все актуальнее. И здесь определяющим становится качество работы экскурсовода и разнообразие предлагаемых экскурсий, которое объективно ограничено специфическими подземными условиями. В 2014 г. с разрешения горной службы мы разработали экскурсию «По заповедной тропе». Буквально в двух шагах от благоустроенного маршрута существует мир дикой пещеры, очень мало отличающийся от того, что встречают спелеологи в любой из множества необорудованных пещер: темнота, тишина, глина, сырость, низкие узкие ходы. Далеко не каждый турист имеет возможность или может решиться на посещение такой пещеры, здесь же они могут это сделать при минимальном риске и минимуме необходимого снаряжения. Осмотр укромных уголков за пределами экскурсионного маршрута занимает около трех часов, за это время туристы посещают старый лаз в пещеру, грот Полярный, проход Горе Толстякам и Высоким, колодец в гроте Крестовом, и др. Запоминающимся моментом экскурсии является посещение грота Шапка Мономаха, являющегося, по сути, нижней частью крупной органной трубы. В гроте Геологов участники этой необычной экскурсии отдыхают на площадке спелеокамеры, где проходят небольшой сеанс спелеотерапии.

Ученые убедительно доказали наличие лечебных свойств воздуха в Кунгурской пещере. Это связано с присутствием в нем радона. Концентрация легких аэроионов здесь намного выше, чем снаружи. Во время пребывания в пещере повышается интенсивность дыхания, активизируются обменные процессы, активизируется кровоток. К тому же воздух пещеры не содержит пыли, пыльцы и прочих аллергенов, а концентрация микроорганизмов в нем минимальна. По своей чистоте он соответствует воздуху высокогорий и сосновых лесов. Поэтому желающие, в дополнение к экскурсии, могут провести на спелеоплощадке оздоровительный сеанс продолжительностью 45 минут.

Доступная для посещений электрифицированная часть пещеры составляет всего около двух км. Остальная часть (около 4 км) – с огромными гротами, крупными органными трубами, большими озерами – долгое время была доступна только для спелеогрупп, направляющихся туда с исследовательскими целями. С 2017 г. по согласованию с Кунгурской лабораторией-стационаром Горного института возможно ее посещение туристами с познавательными целями. Группа (не более 6 человек) должна иметь собственное снаряжение и спецодежду, организаторами предоставляются только каски, фонари и перчатки. Ее сопровождает спелеолог – сотрудник Кунгурской лаборатории, все требования и указания которого экскурсанты обязаны выполнять. На путешествие в заповедную часть пещеры уйдет 4-5 часов.

Современный турист требователен к предлагаемому туристскому продукту. Его не увлечь только аттрактивными видами, подробной информацией, отработанностью маршрута, он нуждается в неповторимом сюжете, анимации, креативном, а иногда и активном досуге. Учитывая это, недропользователь пещеры в тесном взаимодействии с наукой способствует расширению туристских возможностей использования пещерного пространства. Каждое новое открытие в пещере

создает новый информационный отклик в экскурсионном тексте, что способствует росту интереса к ней.

Разрабатывая тематическое направление в экскурсиях по пещере, мы исходим из историко-легендарных текстов пермских мифов и легенд, сказок, быличек – огромного пласта устного творчества местного населения. Территория Предуралья, где находится Кунгурская Ледяная пещера, была освоена финно-угорскими народами с VI в. нашей эры. На поверхности Ледяной горы расположен археологический памятник федерального значения «Ермаково городище», построенный аборигенами края – остяками и вогулами. Люди этой культуры верили, что провалы, воронки, пещеры порождены зверем-мамонтом. Устойчивый мансийский миф о сотворении мира прочно и надолго вошел в память русского населения, пришедшего в эти места в XVII веке. Миф о мамонте стал поводом для исследования пещеры В.Н. Татищевым. Так из накопленного мифологического материала появился текст экскурсии «Пещерные сказки о мамонте», которая объединяет мифологию территории Урала и локальное пространство Кунгурской пещеры.

Экскурсия рассчитана как на младших, так и на старших школьников (до 12 лет). В зависимости от возраста экскурсионный материал варьируется. В ней использован интерактив: игра-викторина «Охота на мамонта», за которой следует демонстрация тематического лазерного фильма. В процессе экскурсии шаг за шагом вместе с детьми мы движемся от архаичного мировоззрения к научному восприятию мира. Экскурсия была разработана в 2016 году, сегодня она успешно прошла адаптацию, и становится востребованной – в настоящее время ее посетили около 10 тыс. школьников.

Одной из наиболее успешных тематических экскурсий является существующая уже 10 лет экскурсия «В поисках клада Ермака». Ее экономически эффект в настоящее время не уступает по прибыльности наиболее массовым обзорным экскурсиям. Успех заключается в логистике маршрута, attractiveness зрительного ряда, аксиологии и идеологии самой экскурсии, а также в правильно подобранных и подготовленных экскурсоводах, которые создают подземный спектакль и квест на определенных участках тропы. Мы не будем писать о ней подробно, эта экскурсия уже неоднократно освещалась в специальных публикациях и профильных изданиях.

В наше время сложность визуального восприятия объясняется массовостью всевозможной информации, которую мы поглощаем каждый день. Наша культура в основном зрелищная, и человек XXI века постепенно теряет способность к сосредоточенному рассматриванию. К сожалению, это закономерный процесс, и об этом надо помнить. Среди прочих тематических экскурсий в этом плане выделяется психофизиологическая экскурсия «Час тишины». Это погружение в мир подземного Космоса. Сначала - темнота. Экскурсовод гасит свет в Бриллиантовом гроте, и через минуту зажигает свечу. Отсутствие естественного освещения начинает сказываться уже с первых шагов под каменным небом. Тишина под землей тоже относительна. Исчезают привычные земные звуки, заменяются новыми.

Почти всю информацию об окружающем мире человек получает через органы чувств. А какие ощущения подарит человеку пещера? Мы предлагаем посетителям загадки подземной тишины раскрыть через сосредоточенность на своих ощущениях

ях. При невозможности удовлетворения сенсорных потребностей в необычных условиях активизируются процессы воображения, которые определенным образом воздействуют на образную память. Возникают эйдетические представления. В условиях изоляции человек получает возможность сосредоточиться на одной идее. Внешние факторы не нарушают в пещере его сосредоточенности, имеющей одну определенную направленность. Известно, что к самоизоляции прибегали многие художники, писатели, композиторы в своей творческой работе.

Кульминация экскурсии («медитация в полной темноте») проводится на кольцевом маршруте, в гроте Смелых. В любой момент по желанию экскурсанта сеанс можно прервать и зажечь свет.

Последняя разработка на историческую тематику – экскурсия под названием «Ожившие истории». Идея создания подземного спектакля была озвучена Эльдаром Маматовым, издателем из Петербурга, главным идеологом и разработчиком самого длинного в России турмаршрута «По следам Великой Северной экспедиции Беринга». По его просьбе для группы туроператоров из разных регионов России нами была поставлена анимационная сцена «Иоганн Гмелин в Кунгурской пещере». Сшитые впоследствии театральные исторические костюмы и разработанные монологи персонажей, имеющих отношение к пещере (Семен Ремезов, принцесса Виктория фон Баттенберг), легли в основу новой экскурсии, которая проходит апробацию в настоящее время.

Одним из очевидных фактов, влекущих за собой серьезный пересмотр всех подходов к обслуживанию туристов, является изменение спроса. В современной эпохе потребления и Интернета потребности туриста сильно изменились – он все чаще едет не за знаниями, а за впечатлениями: «Что я выложу в Инстаграмм?». Поэтому так нужна интерактивность экскурсий, в том числе и пещерных. Погружая человека в мир эмоций и впечатлений, мы, если делаем это правильно, неизбежно будим в нем интерес к тому, что его особенно поразило или удивило. И он придет в пещеру повторно, с целью получить знания, и, вооружившись ими, еще раз, по-новому, «прочувствовать узнанное».

Кунгурская Ледяная пещера – часть историко-природного комплекса, включающего Ледяную гору. Ее туристско-рекреационный потенциал в настоящее время остается не реализованным. Полноценное впечатление о поездке в Кунгур у туристов сложится в результате знакомства с карстовым ландшафтом, типичным примером которого является Ледяная гора. Оптимальной формой рекреационного использования горы было бы ее включение в состав проектируемого природного парка «Пермский», создание которого было широко анонсировано краевой администрацией в 2017 г. С этим могут быть связаны дальнейшие перспективы развития экскурсионного использования припещерной территории.

УДК: 551.44

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ ПЕЩЕР НА ПРИМЕРЕ ПЕЩЕРНОГО КОМПЛЕКСА В БОЛЬШИХ ДИВАХ

Кондратьева С.К.

Природный, архитектурно-археологический музей-заповедник «Дивногорье», г. Воронеж, Россия; kosofia@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается комплекс проблем, возникающих при эксплуатации искусственного пещерного комплекса в Больших Дивах на территории музея-заповедника Дивногорье. Они связаны с инженерно-техническим обеспечением и комплексным мониторингом, различными правовыми аспектами и рациональной организацией посещения пещерного комплекса паломниками и туристами.

Ключевые слова: искусственные пещеры, Дивногорье, оборудование пещер.

SOME OPERATIONAL PROBLEMS OF ARTIFICIAL CAVES ON THE EXAMPLE OF CAVE COMPLEX IN BOLSHIE DIVY

Kondrateva S.K.

Natural, architectural and archaeological museum-reserve Divnogorye. Voronezh, Russia; kosofia@yandex.ru

Abstract. Problems connected with operation of the artificial cave complex in Bolshie Divy located on the territory of museum-reserve Divnogorye are discussed. They are related to engineering and technical support and integrated monitoring, various legal aspects and rational organization of visits to the cave complex by pilgrims and tourists.

Keywords: artificial caves, Divnogorye, cave's equipment.

Пещерный комплекс в Больших Дивах расположен в основании мелового останца-дивы в Лискинском районе Воронежской области на территории Природного, архитектурно-археологического музея-заповедника «Дивногорье». Он состоит из двух ярусов, объединенных лестничным переходом, каждый из которых имеет собственный вход. На нижнем ярусе находится пещерная церковь Сицилийской иконы Божией Матери и обводная галерея с рядом расширений, на верхнем ярусе располагаются три небольших помещения хозяйственно-жилого назначения.

Первое документальное упоминание о пещере относится к 1831 г. В XIX в. для обеспечения доступа редких посетителей рядом с комплексом проживал монах Дивногорского монастыря. Массово пещеру посещали только во время крестного хода раз в год на праздник Успение Пресвятой Богородицы. После революции 1917 г. до середины 1980-х гг. комплекс свободно посещался местными жителями, самодеятельными туристами и отдыхающими из созданного в зданиях монастыря дома отдыха. Меловой останец стал площадкой для тренировок альпинистов и спелеологов. За этот период произошли серьезные разрушения – от утраты

части фасада до обрушения отрезка в 14,5 м в обводной галерее. Укрепительные работы были начаты с созданием филиала Воронежского областного краеведческого музея «Дивногорье», который в 1991 г. приобрел статус самостоятельного учреждения культуры. Комплекс был полностью отреставрирован, а в 2011 г. оборудован светодиодным освещением.

Для успешной эксплуатации пещерного комплекса как объекта туризма, в т.ч. религиозного, требуется решение целого ряда проблем, связанных с инженерно-техническим обеспечением и комплексным мониторингом, а также с различными правовыми аспектами.

К проблемам юридического поля, в первую очередь, относится задача присвоения пещерному комплексу статуса объекта культурного наследия (ОКН)¹. Это позволит защитить его от возможных реконструкций, нарушающих первичный облик. В настоящее время пещерный комплекс в Больших Дивах на основании приказа 71-01-07/50 от 13.02.2017 г. является выявленным ОКН Воронежской области.

Для сохранения комплекса и обеспечения безопасности посетителей необходимы регулярные наблюдения. Проблемы геологической среды, связанные с протеканием естественных процессов, освещали исследователи естественно-научного профиля [2, 3].

Одной из основных проблем эксплуатации является характерный для многих пещер микроклиматический режим. По наблюдениям 2014–2015 гг. средняя температура по нижнему ярусу в естественных условиях составила +8,7°C, влажность воздуха – 96 %. [4]. Еще в XIX в. Е. Марков отмечал, что на стенах комплекса из-за влажности не сохраняются росписи: *«Храм вырублен в скале довольно высокими сводами на массивных столбах из того же известняка, расписанных со всех четырёх сторон так же, как и стены, полинявшими иконами, прямо по сырцу скалы. Убогое убранство храма ржавеет и тлеет неудержимо в этой вечно сырой атмосфере, насыщенной испарениями извести. Живопись съедается и тускнеет ещё быстрее»* [7]. Это подтверждал и священник А. Кременецкий: *«Несмотря на недавнее устройство иконостаса, иконы в нем вследствие сырости попорчены»* [6].

На рубеже XX–XXI вв. наиболее ярко проблема влажности проявилась при эксплуатации системы освещения. Если оборудование, установленное при реставрации начала 1990-х гг., функционировало около 10 лет без существенных сбоев, то дальнейшее поддержание работы стационарного освещения требовало регулярных ремонтных работ. В 2011 г. компанией «Cave Lighting» был реализован проект дистанционно управляемого художественного освещения пещерного комплекса с использованием влагостойкого светодиодного оборудования [5]. До 2018 г. система требовала лишь локальных профилактических работ. Помимо освещения, отвечающего современным требованиям, привходовая часть комплекса была оборудована проектором для показа фильмов о традициях религиозного пещерокопания в Средиземноморье, Крыму, донском бассейне. На стене в начале маршрута

¹ Пещерные комплексы на территории Воронежской области эксплуатируемые РПЦ не имеют статуса ОКН за исключением пещерного комплекса в Малых Дивах.

по обводной галерее установлена аудиоколонка, посредством которой транслируется церковная музыка.

Особенности микроклимата не позволяют размещать дополнительные экспозиционные материалы, выполненные из традиционных материалов – бумаги, ткани, дерева, железа. В 2005–2008 гг. на втором ярусе комплекса работала предметная экспозиция, условно воссоздающая быт монахов, а на первом ярусе в 2006–2010 гг. была представлена фотовыставка, рассказывающая об истории Дивногорского монастыря. К сожалению, экспозиции быстро пришли в негодность и были демонтированы. Современное оборудование позволяет решить проблему экспонирования фондовых материалов. К примеру, отреставрированный список Сицилийской иконы Божией Матери с 2011 г. размещен в специальной влагозащитной витрине. В 2011 г. в процессе реализации проекта «Лики меловых храмов – реальные и мультимедийные» была создана мультимедийная экспозиция по сути заменившая фотовыставку и значительно расширившая ее наполнение.

Другой проблемой, связанной с нарушением облика пещерного комплекса, является распространение микрофлоры на стенах и меловых сводах. Здесь выявлен 21 вид цианобактерий и водорослей, а также 2 вида мха [1]. В настоящее время, благодаря замене обычных ламп накаливания на светодиодные, фототрофы наблюдаются преимущественно в местах естественного освещения через входные проемы и окна. Сотрудниками заповедника проводятся ежегодные профилактические работы по химическому и механическому очищению сводов, однако они имеют лишь краткосрочный эффект.

Ряд проблем связан с регулированием потока посетителей. Пещерный комплекс в Больших Дивах является не только памятником истории и культуры, но и объектом религиозного почитания – во время богослужений и в церковные праздники вход в храм свободный. В остальное время памятник является объектом экскурсионного показа. Комплекс включен в большинство экскурсионных маршрутов. Единовременно в нем не могут находиться более 60 человек. В пиковый период праздничных и выходных дней количество экскурсантов зачастую превышает пропускную способность комплекса. Посещение пещерного комплекса для самостоятельных туристов возможно только в составе сборной экскурсионной группы, формирующейся в определенное время, и по предварительной записи для организованных туристических групп. Это позволяет контролировать единовременное пребывание посетителей. Продолжительность пребывания экскурсантов внутри пещеры колеблется от 20 до 60 мин. В среднем за экскурсионно-туристический сезон с мая по ноябрь памятник посещают до 30 000 человек и проводится больше 1000 экскурсий.

Увеличение потока посетителей приводит также к проблеме сохранения меловых ступеней, соединяющих два яруса. Расположение комплекса на склоне делает его посещение в настоящее время недоступным для маломобильных групп населения. Проблема не решена в данный момент из-за отсутствия технических возможностей. Отельной проблемой эксплуатации является вандализм – некоторые экскурсанты пытаются отделиться от экскурсионной группы и оставить автографы на меловых стенах пещеры. Ее решение связано с совершенствованием си-

стемы охраны и наблюдения, а также с просветительской работой, которую проводит музей-заповедник.

Таким образом, при эксплуатации пещерного комплекса в Больших Дивах администрация музея-заповедника сталкивается с природными и антропогенными факторами, требующими постоянного контроля и совершенствования способов решения, вызванных ими проблем. В настоящее время комплекс является единственным среди подобных оборудованных подземных архитектурных сооружений в России, где ведется регулярный мониторинг различных параметров подземной среды и оценка воздействия на нее антропогенного фактора. Комплекс выступает полигоном и для различных прикладных исследований – биологических, геофизических. В одном из помещений комплекса установлена сейсмостанция, входящая в сеть мониторинга Геофизической службы РАН.

Литература

1. Абдуллин Ш.Р., Мазина С.Е. Сообщества фототрофных организмов пещер Дивногорья // Христианские пещерные комплексы Восточной Европы: тезисы международной научно-практической конференции (24-27 апреля 2014, Дивногорье, Воронежская обл., Россия). – Воронеж: издательство «Истоки», 2014. – С. 31.
2. Вязкова О.Е. Инженерно-геологические проблемы сохранения комплекса памятников в музее-заповеднике «Дивногорье» // Дивногорский сборник: труды музея-заповедника «Дивногорье». – Вып. 3. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С.275-287.
3. Гунько А.А. Естественный морфогенез в искусственных пещерах Дивногорья // Дивногорский сборник: труды музея-заповедника «Дивногорье». – Вып. 7. – Воронеж: Научная книга, 2018. – С. 53-60.
4. Гунько А.А., Кондратьева С.К. Микроклиматический режим пещерного комплекса в Больших Дивах: антропогенные факторы // Дивногорский сборник: Труды музея-заповедника «Дивногорье». Вып. 5. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2015. – С.143-151.
5. Кондратьева С.К. Опыт музеефикации пещерного храма Сицилийской иконы Божией Матери // Спелеология и Спелестология: развитие и взаимодействие наук. Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Набережные Челны: НГПИ, 2011.
6. Кременецкий А. Успенский Дивногорский монастырь, находящийся в Воронежской губернии, и его святыня Сицилийская Чудотворная икона Божией Матери/ Печатается по изд. г. Воронеж, 1912. – М., 1999.
7. Марков Е.Л. Поездка в Дивногорье // Русский вестник. – 1891. – Т. 214. – № 5 (май). – С. 128–147; № 6 (июнь). – С. 157– 182.

УДК: 551.44

**НОВЫЙ СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ
«ПОДЗЕМНАЯ РУСКЕАЛА»:
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Артемов А.Б. *, Юшко А.А. ***

**ООО «Колмас Карелия» Сортавала, Республика Карелия*

***Русское географическое общество, Санкт-Петербург*

***Аннотация:** Настоящей жемчужиной Карелии в Год экологии благодаря сотрудничеству спелеологов Русского географического общества с группой компаний "Колмас Карелия" стал новый спелеологический маршрут "Подземная Рускеала". В ноябре 2017 года, проект получил Гран-При Всероссийской премии "Маршрут года" (номинация – "Лучший маршрут, посвященный году экологии"). Спеleoмаршрут создан на пересечении тем: географии, геологии, гидрологии, экологии, истории горного дела.*

***Ключевые слова:** спелеотуризм, Рускеала, экскурсионный объект.*

**NEW SPELEOLOGICAL ROUTE "UNDERGROUND RUSKEALA":
FEATURES OF OPERATION AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

*Artemjev A.B. *, Yushko A.A. ***

**"Kolmas Karelia" Ltd., Sortavala, Republic of Karelia*

***Russian Geographical Society, St.Petersburg*

***Abstract:** A real gem of Karelia in the year of the environment thanks to the cooperation of cavers from the Russian geographical society with the group of companies "Kolmas Karelia" has become the new route of the Mining Park "Ruskeala" - "Underground Ruskeala". In November 2017, the project received the Grand Prix award "route of the year" (nomination – "Best route, dedicated to the Year of Ecology"). A route is created at the intersection of themes: geography, Geology, hydrology, ecology, mining history.*

***Key words:** speleotourism, Ruskeala, sightseeing object.*

Северо-запад России, Республика Карелия, Сортавальский район, старинный посёлок горнодобытчиков Рускеала. Сегодня добыча мрамора остановлена, месторождение почти исчерпано. Но именно здесь, как нигде, понимаешь, что Карельская земля ещё полна тайн! Горный парк «Рускеала» - достопримечательность совершенно особого рода. Одним из первых увидел это и сформулировал основные направления развития проекта краевед А.И.Грибушин (Петрозаводск). Ресурсы для развития инвестировала группа компаний «Колмас Карелия», генеральный директор А.Б. Артемов (Сортавала). Тема сохранения геологического и горно-индустриального наследия с самого начала была основной линией проекта, яркий вклад в это вносит краевед И.В. Борисов (Сортавала). Дополнила это направление

тема эко-эффективности (сочетание экологического и экономического подходов в перезагрузке проблемной территории). Всё это и привело к сегодняшним ярким результатам.

В 2014 году парк посетили более 100 тыс. туристов, в 2015-м году здесь побывали 176 тыс. путешественников. Результат 2016-го года превысил планку в 300 тыс. экскурсантов. В 2017 году рост турпотока стабилизировался и остался на уровне 300 тыс. туристов.

Заброшенное в XX веке, но приведённое в экологический порядок в XXI веке, мраморное месторождение привлекает туристов не только своей особой красотой, исторической глубиной и связью с архитектурой Санкт-Петербурга, но и набором тематических развлечений, организованных рядом с основными маршрутами парка. Летом рускеальские маршруты особенно привлекательны. Но с 2013 года коллектив группы компаний «Колмас Карелия» (создатель проекта и арендатор территории парка) провёл огромную работу по адаптации маршрутов для всесезонного использования.

До сих пор важным элементом всех пешеходных маршрутов парка был фрагмент подземной выработки, расположенной на уровне второго горизонта добычи (+106 м над уровнем Балтийского моря). Это так называемая «Сухая штольня». На самом деле – это две небольшие штольни («Северная» - длиной 48 м и «Западная» - длиной всего 15 м). Они подходят на глубине 12,5 м к хорошо сохранившемуся стволу шахты №2 «Лоухос» (её глубина 55 м, шахта частично затоплена). Три года назад штольни были оборудованы временной подсветкой, которая существенно повысила их привлекательность.

Но подземные пространства Горного парка намного обширнее этого фрагмента. В результате комплексных исследовательских работ спелеологов Русского географического общества развитие темы подземных путешествий в последние годы получило мощный импульс. Настоящей жемчужиной Карелии в Год экологии стал новый маршрут Горного парка - «Подземная Рускеала». Маршрут создан на пересечении тем: географии, геологии, гидрологии, экологии, истории горного дела. Его длина определена линейными параметрами системы штолен (две штольни около 140 м и 155 м) и большого колонного мраморного зала с таинственным озером (500 м – периметр зала, около 200 м кольцевая наплавная дорожка). Это искусственные горные выработки, но в них есть яркая природная составляющая. В зависимости от сезона и тематического варианта экскурсии туристы преодолевают до 1 км пути. Причём, самый длинный вариант заканчивается выходом из штолен к пристани, оборудованной в одном из гротов, и путешествием по глади Главного мраморного карьера («Большого мраморного каньона») на самоходной экоплатформе с электродвигателем.

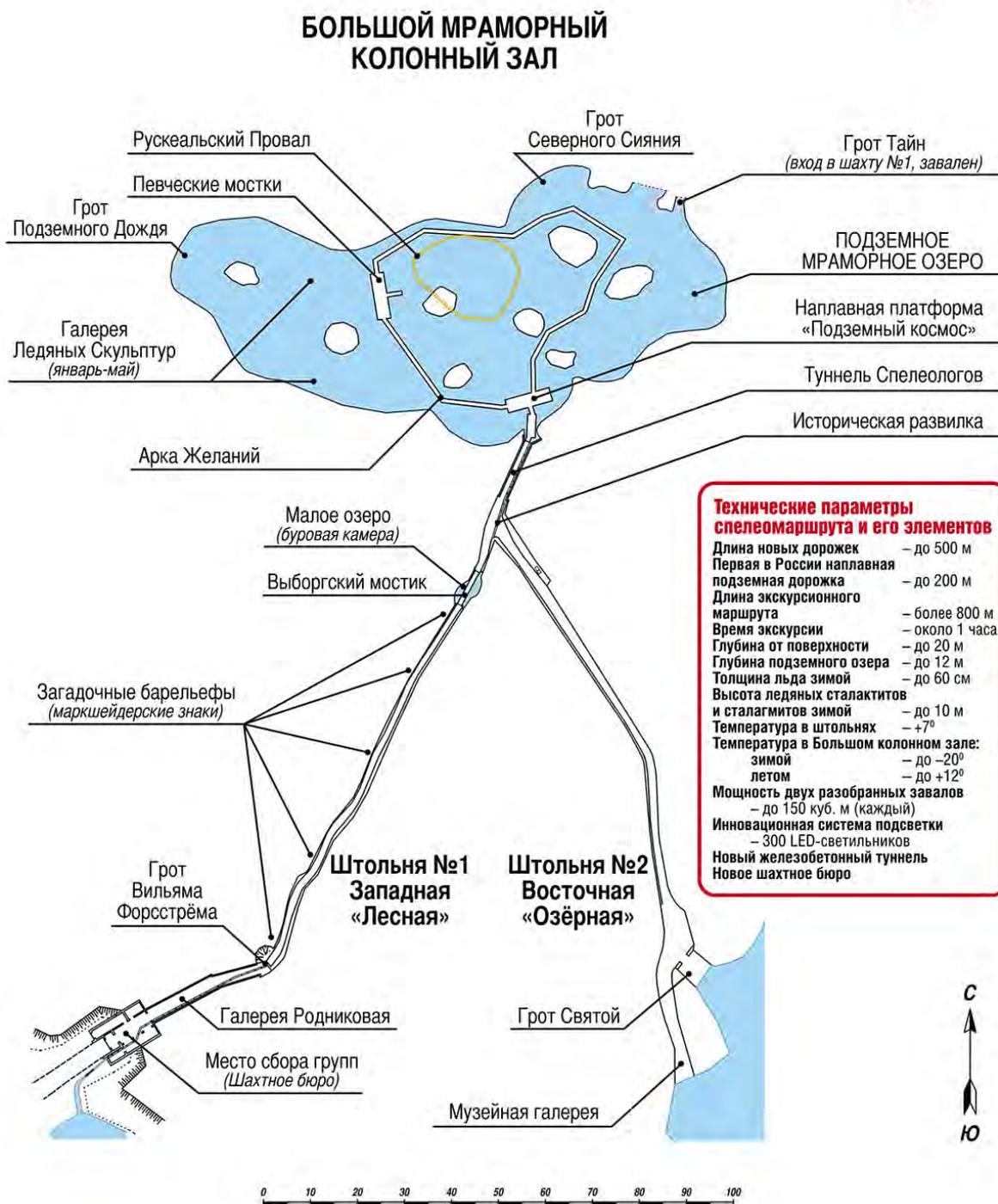
Рускеальские штольни и шахты были созданы более ста лет назад финскими мастерами. Общая длина горных выработок составляла несколько километров (пока исследована лишь малая часть). Располагались они в шесть уровней – «горизонтов» (сегодня нижние горизонты затоплены). Руководил в то время предприятием «Рускеальский мрамор» горнопромышленник Вильям Форсстрём. С 1890 по 1939 года кальцитовый мрамор здесь добывали уже не для архитектурных шедевров Санкт-Петербурга, а для производства извести. Но образовавшиеся пустоты

напоминают по своим масштабам и эстетике древний храмовый комплекс. Причём наполовину он заполнен водой.

Маршрут «Подземная Рускеала»

Спелеологическая экотропа Горного парка

Карта-схема



Карта-схема составлена по материалам топосъемки О.А. Минникова и И.Ю. Хлебалина, при участии ООО «Музейные технологии», «Cave Lighting», А.А. Юшко, О.С. Касьяненко, Д.С. Вахромова и О.Р. Матвеевой. 2009-2017

Рис. 1. Карта-схема маршрута «Подземная Рускеала».

Зимой вода благодаря особому микроклимату превращается в толстый прозрачный лёд, который не тает до июля. С июля по декабрь - это романтическое «озеро грёз» (в отвесных мраморных стенах с туманной дымкой и зыбкой поверхностью), а зимой и весной – это «Дворец Снежной Королевы» (с прозрачным ледяным полом и морозными украшениями). Природа создаёт здесь причудливые сочетания ледяных сталактитов и сталагмитов, прозрачных драпировок.

Экскурсантам выдаются каски, спасательные жилеты. В штольнях температура и зимой, и летом держится у отметки +7°C, а в большом мраморном зале из-за особого эффекта «холодового мешка» почти всегда холоднее. Современный период в освоении этого пространства начался в мае 2007 года, когда известный сортавальский краевед Игорь Борисов впервые показал спелеологам Русского географического общества Рускеальский Провал – вскрытый при взрыве крупный полузатопленный подземный зал. В мае 2009 года петербургские спелеологи начали здесь свои системные исследования. Зимой 2010 года удалось со льда впервые провести детальную топографическую съемку Большого колонного зала. В ходе работ (научным руководителем исследований был Ю.С. Ляхницкий) спелеологи И.Ю.Хлебалин и О.А. Минников преодолели узкий опасный лаз в нише южной стены зала и проникли в штольню, выходящую к главному рускеальскому озеру - «Большому мраморному каньону».

Вторая штольня, ведущая на юго-запад, к Монферрановскому озеру, заканчивалась завалом, возникшим, вероятно, при взрыве выхода галереи на поверхность в 60-е годы XX века. Спелеологи, сделав новую карту подземелий, предположили, что эти полости могут стать основой для формирования подземных экскурсионных маршрутов.

Впрочем, красивое будущее в мрачных заваленных обломками породы и мусором штольнях видели в тот момент лишь специалисты. Серия художественных фотографий А.А. Юшко и О.А. Минникова помогла убедить руководство компании «Колмас Карелия» (генеральный директор – А.Б. Артемьев) развивать ресурсоёмкую подземную тему.

Сегодня идеи, сформулированные спелеологами в процессе исследований, обрели реальность. После фотосессий с художественной подсветкой, после анализа карт и документов стало ясно, что создание подземного маршрута может коренным образом преобразить парк, существенно повысить его всепогодную привлекательность, эмоциональное, интеллектуальное воздействие на экскурсантов и коммерческую ценность.

После этого одни специалисты (Ю.С. Ляхницкий) перешли к проектированию на контрактной основе инженерных элементов обустройства безопасного подземного маршрута. Другие (А.А. Юшко, О.А. Минников, И.Ю. Хлебалин) продолжили программу наблюдений, творческих экспериментов и комплексного консалтинга администрации Горного парка «Рускеала». Кроме этого, в 2010 году в Горном парке в качестве экспертов побывали представители немецкой компании «Germtec» (проект “Cave Lighting”) - С.М. Краско, Л.А. Утробина. Они подтвердили высокий эстетический потенциал подземных рускеальских пространств и создали, при участии спелеологов, первую эскизную 3D модель будущего экскурси-

онного подземного маршрута. Уже тогда стало ясно, что исследования, проектирование и создание будущего подземного маршрута растянется на годы. Но, несмотря на надвигавшийся экономический кризис и дефицит ресурсов, старт проекту был дан. Кроме разбора сложных завалов, вскрытия штольни, создания двух новых туннелей специалистам предстояло оборудовать в Большом мраморном зале плавучую экскурсионную тропу длиной около 200 метров. Подобные работы в России проводились впервые. Начались они в ноябре 2015 года. Мастера из Выборгской компании «Маринпласт» (генеральный директор С.М. Немцов) успели смонтировать около 100 метров наплавной дорожки до ледостава в подземном озере, а затем, по льду, в феврале-апреле 2016 года, выстроили оставшуюся часть понтонных конструкций. В период с июля (когда лёд подземного озера растаял) по август 2016 года продолжалась регулировка и отладка этой самой сложной части подземного маршрута.

В создании надёжных инженерных конструкций на будущем маршруте в качестве подрядчика в период с 2013 по 2015 годы участвовала компания «Альпрофсервис». Её директором был известный альпинист Александр Ручкин. Компания достойно выполнила все договорные обязательства перед Горным парком. Александр Ручкин неоднократно выезжал на объект и лично участвовал в сложных инженерных операциях. В сентябре 2015 года Александр Ручкин трагически погиб во время восхождения в Перу...

Общая сумма средств, инвестированных на июнь 2018 года в проект «Подземная Рускеала», превышает 70 млн. рублей. Уже выполнен основной объём работ. Проведены исследования, разобраны опасные завалы, укреплены своды мраморных штолен, заняли свои места понтоны и подводные фонари, прошёл обучение персонал, созданы экскурсионные тексты и технологические карты. В октябре 2017 года прошёл ещё один этап отладки специального светомузыкального оборудования. Под землёй зазвучала музыка. В мире есть десятки экскурсионных природных пещер, есть подземные маршруты в катакомбах и в пещерных монастырях. Но на их фоне «Подземная Рускеала» выделяется особым сочетанием историко-культурных тем и разнообразием природных красот, зависящих от сезона.

Тестовая эксплуатация маршрута началась в январе 2017 года. Основные его элементы к тому времени были сданы в эксплуатацию. Но до апреля продолжались отделочные работы, отрабатывались и корректировались внутренние сезонные регламенты, набирался и проходил обучение персонал. После серии консультаций со спелеологами РГО и представителями подрядных организаций отдельные зоны маршрута были дополнительно укреплены, инженерные конструкции усилены, отдельные зоны наплавных элементов снабжены дополнительными поплавками.

В марте-апреле 2017 года спелеомаршрут «Подземная Рускеала» был осмотрен известным спелеологом Г.В.Самохиным (Крымский федеральный университет), а также представителями Института геологии Карельского научного центра РАН. В апреле 2017 года маршрут прошёл официальную сертификацию. В ноябре 2017 года проект получил Гран-при Всероссийской премии «Маршрут года» (номинация – «Лучший маршрут, посвящённый Году Экологии»). На июнь 2018 года маршрут «Подземная Рускеала» принял 30 тыс. экскурсантов.

В 2018 году Горный парк "Рускеала" стал участником международного проекта "Подземная лаборатория". Российским координатором проекта является Карельский научный центр РАН. В рамках проекта на маршруте будет установлена аппаратура для комплексного мониторинга подземного пространства. В первую очередь будут фиксироваться геодинамические, микроклиматические и гидрологические параметры. Будут продолжены наблюдения за экосистемой. Вестись эта работа будет в содружестве с Русским географическим обществом и Российским союзом спелеологов (создан в 2017 году при поддержке РГО).

Если запасы рускеальского мрамора конечны, то научно-культурный потенциал этой территории - неисчерпаем. Горный парк «Рускеала» сегодня – важный пилотный проект туристско-рекреационного кластера «Южная Карелия».

Литература

1. Борисов И.В., Ляхницкий Ю.С., Минников О.А., Мусатова Т.А., Хлебалин И.Ю., Юшко А.А. Проект создания Рускеальского геопарка // Карстовые системы Севера в меняющейся среде: тр. междунар. конф., Пинега, 2011.
2. Юшко А.А., Минников О.А. Выявление эстетического потенциала подземных объектов. //Спелеология и спелестология. Сб. мат. III междунар. науч. заоч. конф., Набережные Челны: НИС-ПТР, 2012. - С. 268-269.
3. Юшко А.А., Борисов И.В., Минников О.А., Мусатова Т.А. При участии Грибушина А.И., Ляхницкого Ю.С. Горный парк «Рускеала»: тайна глубины. Буклет, Рускеала, 2012.
4. Артемьев А.Б., Юшко А.А. Комплексное развитие Горного парка «Рускеала» // Спелеология и спелестология: сб. мат. III междунар. науч. заоч. конф., Набережные Челны: НИС-ПТР, 2012. - С. 263-265.
5. Юшко А.А. Горный парк «Рускеала»: туристический объект нового типа как точка роста для обширной территории. Экологический PR как инструмент устойчивого развития // Мат. междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург: РГГМУ, 2014.
6. Артемьев А.Б., Юшко А.А. Горный парк «Рускеала»: десять лет успешных инноваций. Строительный камень: от геологии до архитектуры // Сборник КарНЦ РАН, Петрозаводск, 2015.
7. Артемьев А.Б., Юшко А.А. Горный парк «Рускеала»: инновации – путь к успеху в условиях кризиса // Роль туризма в устойчивом развитии Русского Севера: тр. Всерос. науч.-практ. конф. 21-22 ноября 2014 г., Петрозаводск, 2015 - С. 136-149.
8. Ляхницкий Ю.С., Юшко А.А., Борисов И.В., Минников О.А., Хлебалин И.Ю. Старинные горные выработки Карелии – важнейший элемент туристического потенциала республики (на примерах Горного парка «Рускеала» и рудника «Рогосельга») // Роль туризма в устойчивом развитии Русского Севера: тр. Всерос. науч.-практ. конф. 21-22 ноября 2014 г., Петрозаводск, 2015 - С.197-208.
9. Артемьев А.Б., Юшко А.А. Горный парк «Рускеала»: от тайны глубины к горизонтам развития // Геологическое и горно-индустриальное наследие в развитии экономики регионов: матер. междунар. науч.-практ. конф., 12-15 сентября 2016 года. Отв. ред. В.А. Шеков. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. - С. 169-181.
10. Артемьев А.Б., Юшко А.А. Горный парк «Рускеала»: от «тайны глубины» к «горizontам развития» // Спелеология и спелестология: сб. мат. VII Международной науч. конф. - Набережные Челны: НГПУ, 2016 – С. 329-333.
11. Артемьев А.Б., Юшко А.А. Новый спелеологический экомаршрут «Подземная Рускеала» // Пещеры: сб. науч. тр. — Пермь, 2017. — Вып. 40. — С. 103–114.

СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОБЛЕМЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК: 551.44

СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ
В ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЕ “ПЕЩЕРЫ”

Шелепин А.Л.

Российский технологический университет МИРЭА; alex@shelepin.msk.ru

Аннотация: рассматриваются принципы спелеологического районирования, принятые при создании информационно-поисковой системы "Пещеры" и Атласа пещер России.

Ключевые слова: спелеологическое районирование.

SPELEOLOGICAL ZONING IN THE INFORMATION-SEARCH SYSTEM “THE CAVES”

Shelepin Aleksei

Russian Technological University; alex@shelepin.msk.ru

Abstract: The principles of speleological zoning, adopted over the creation of the information-search system "The Caves" and the Atlas of the caves of Russia, are considered.

Keywords: speleological zoning.

При создании информационно-поисковой системе (ИПС) “Пещеры”, включающей данные по пещерам России и ближнего зарубежья, встала задача построения единой системы спелеологического районирования до уровня областей и районов в пределах всей страны. Основная сложность была связана с тем, что на среднем уровне (области, районы) в региональных базах были приняты различные критерии выделения таксонов, и соответственно существующие системы плохо стыковались. Зачастую системы таксонов различались даже числом элементов. Единая система спелеологического районирования разрабатывалась лишь до уровня провинций [1].

В принятой в ИПС “Пещеры” системе спелеологического районирования используется цепочка из 4 основных и 3 опциональных (в скобках) таксонов: **страна - провинция - область - район - (подрайон) - (участок) - (подучасток)**

На высших уровнях районирования - *страна, провинция* - основными критериями выделения служат структурно-тектонические и геоморфологические особенности геотектур. Для стран такими геотектурами являются платформы — равнины и подвижные пояса — горы. Их крупные морфоструктуры отвечают провинциям. Страны и провинции географически непрерывны.

Области могут и не быть географически непрерывными и выделяются по достаточному основанию (наличие и распространенность карста или псевдокар-

ста). Для области акцент смещается с особенностей геологического строения и рельефа как таковых на спелеологические - распространение пород, в которых заключены пещеры, и условия развития пещер в них.

Район является основной единицей спелеорайонирования и представляет собой относительно крупную площадь (от десятков до тысяч квадратных километров), обладающую единством геологических, геоморфологических и гидрогеологических условий. Район может делиться на подрайоны и участки или непосредственно на участки.

Подрайоны должны иметь четкие гидрологические границы. Это могут быть отдельные не очень большие спелеомассивы, или отдельные части спелеорайона, разделенные глубокими врезами речных долин. Подрайоны не являются обязательными элементами районирования. В частности, районы без четких внутренних гидрологических границ делятся непосредственно на участки.

Участок - сравнительно небольшая территория с морфолого-генетически сходными формами рельефа, возможны орографические, карстологические, гидрологические особенности. *Подучастки* выделяются по поверхностным формам рельефа. Их выделение требуется редко, например, в случае особо крупных горных спелеомассивов площадью от нескольких сотен км² с большим числом пещер.

Всего на территории России выделено 11 спелеостран – Восточно-Европейская, Арктическая, Крымско-Кавказская, Уральская, Западно-Сибирская, Алтае-Саянская, Байкало-Становая, Среднесибирская, Северо-Восточной Сибири, Камчатско-Курильская, Дальневосточная, спелеопровинций, спелеообластей. На настоящий момент в базе содержится информация по 71 спелеологической провинции, 108 областям, 216 районам и подрайонам.

Литература

1. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н.. Карстоведение. Ч.2. Региональное карстоведение. Пермский гос. университет, Пермь, 2008. – 268 с.

УДК: 911.53[904::908:69.035](477.75)

СПЕЛЕСТОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ОБЗОР ТЕРРИТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ

Долотов Ю.А.

Русское Географическое Общество, Протвино, Россия; dolotov@yandex.ru

Аннотация: *Задачей данной работы является уточнение спелестологического районирования округа города Севастополя, поверхность которой сложена средне- и верхне-сарматскими известняками. Эта территория с точки зрения спелестологического районирования соответствует Гераклеяскому району Севастопольской области Горнокрымской провинции Средиземноморской страны. Строительство большого количества подземных сооружений военного, культурного и хозяйственного назначения производилось здесь с античности до современного времени.*

Ключевые слова: *искусственные подземные полости, спелестологическое районирование, спелестологический район, Севастополь.*

SPELESTOLOGICAL ZONING AND OVERVIEW OF THE SEVASTOPOL TERRITORY

Dolotov Yu.A.

Russian Geographical Society, Protvino, Russia; dolotov@yandex.ru

Abstract: *The main aim of this work is improving the speleological zoning of Sevastopol. The surface there consists of mid- and upper Sarmatian limestones. According to the speleological zoning scheme this territory belongs to Mediterranean country Mountain Crimean province Sevastopol division Heracleian regions. A lot of underground structures of cult, military and utility purpose have been constructed here from antiquity till modern time.*

Keywords: *Artificial underground cavities, speleological zoning, speleological regions, Sevastopol'.*

Под территорией Севастополя в данной работе понимается центр города с окрестностями, поверхность которых сложена средне- и верхне-сарматскими известняками. Эта территория с точки зрения спелестологического районирования соответствует Гераклеяскому району Севастопольской области Горнокрымской провинции Средиземноморской страны.

Здесь известно большое количество неиспользуемых искусственных подземных сооружений, относящихся к различным эпохам – от античной до современной.

Киленский СпУ. Находится на южном берегу Севастопольской бухты, или левом берегу р. Черной, если рассматривать бухту как ее эстуарий. Протягивается по правой стороне Килен-балки. Занимает южные склоны и платообразную поверхность Киленбалочных высот. Включает спелестологические блоки (СпБ):

Троицкий СпБ. Располагается между Троицкой балкой и Килен-балкой (р. Авлитка). С северо-запада ограничен Троицкой балкой, с юго-запада – нижним отрогом Килен-балки.

Нижний Абрикосовский СпБ занимает склон далее вверх по правому борту Килен-балки, между двумя отрогами балки, и верхнее плато между Троицкой и Георгиевской балками.

Верхний Абрикосовский СпБ занимает склон между двумя отрогами балки и верхнее плато между Георгиевской и Сушильной балками.

Микрюковский СпБ находится выше по Килен-балке и ограничен сверху Микрюковой балкой. Охватывает территорию между Килен-балкой, Микрбковой, верховьями Сушильной и Каменоломенных балок.

Киленбалочный СпУ: Тр - Троицкий СпБ; НА – Нижний Абрикосовский СпБ; НА – Нижний Абрикосовский СпБ; Мк – Микрюковский СпБ. **Корабельная Сторона СпУ:** Кл - Киленский (Парасовский) СпБ; КС - Корабельная Сторона СпБ; Бо - Бомборы (Воронцова Гора) СпБ; КГ - Красная Горка СпБ. **Максимова Дача СпУ:** КХ - Кеткартов Холм СпБ; ВМ - Верхний Максимовский СпБ; НМ - Нижний Максимовский СпБ; Лу - Лукомский СпБ. **Севастопольский СпУ:** ЦС - Центральный Севастопольский СпБ; ЗС - Западный Севастопольский (Артиллерийский) СпБ; Кр - Карантинный СпБ; ЮС - Южный Севастопольский СпБ. **Херсонесский СпУ:** Ст - Стрелецкий СпБ; Км - Камышовый СпБ. **Западно-Гераклейский СпУ:** ЗГ - Западно-Гераклейский СпБ. **Сапун-Гора СпУ:** СГ - Сапун-Гора СпБ.

СпУ Корабельная Сторона.

Киленский (Парасовский) СпБ. Расположен между Килен-балкой (р. Авлитка) и Ушаковой балкой.

СпБ Корабельная Сторона. Расположен между Ушаковской и Доковской балками. Разделен на подблоки Аполлоновой балкой.

СпБ Бомборы (Воронцова Гора). Расположен между Доковой и Лабораторной балками.

Красная Горка СпБ. Находится между балками - Лабораторной на востоке и Саранданакиной и ее притоком Делагардовой на западе.

СпУ Максимова Дача. Расположен между Саранданакиной и Делагардовой балками.

СпБ Кеткартов Холм - между Делагардовой и Саранданакиной балками.

Верхний Максимовский СпБ. По правому борту Хомутовой балки в парке Максимова Дача.

Нижний Максимовский СпБ. Правый борт Хомутовой балки ниже безымянного правого отвержка у нижнего края парка-усадыбы Максимова Дача.

Лукомский СпБ. Находится между Хомутовой и Саранданакиной балкой.

Севастопольский СпУ. Протягивается от побережья Черного моря между Саранданакиной и Загородной балками.

Центральный Севастопольский СпБ. Лежит по южному берегу Севастопольской бухты между Лагерной и Артиллерийской (Городской) балкой (ныне почти засыпанными).

Западный Севастопольский (Артиллерийский) СпБ. Лежит по южному берегу Севастопольской бухты между балками Артиллерийской (Городской), ныне почти засыпанной, и Загородной.

Карантинный СпБ. Расположен между Загородной балкой и низовьем Карантинной.

Южно-Севастопольский СпБ. Расположен между верховьями Саранданакиной и Карантинной балок, выше впадений соответственно Лагерной и Вишневецкой балок.

Херсонесский СпУ. Занимает центральную часть и северный берег Гераклеяского полуострова к западу от Загородной балки.

Стрелецкий СпБ. Расположен между Херсонесской и Стрелецкой балками. Неглубокими балками делится на несколько подблоков. Наиболее значимые из них находятся у Карантинной бухты: это Девичья Гора (Южный Некрополь), и Херсонес (Музейный), на котором находится Херсонесское городище, на территории и ближайших окрестностей которого расположено большое число небольших искусственных полостей различного назначения.

Камышовый СпБ. Располагается между Стрелецкой с северо-востока и Юхариной (внизу) и Бермана (выше) балками с юго-запада. С юго-востока ограничен подножием Караньских высот.

Западно-Гераклеяский СпУ. Протягивается вдоль юго-западного края Гераклеяского полуострова между балками Юхариной и Бермана, Мраморной балкой и Черным морем. По-видимому, вся площадь СпУ образует единый Западно-Гераклеяский СпБ.

СпУ Сапун-Гора. Находится на левом берегу р. Черной.

Сапун-Гора СпБ. Занимает плато Сапун-горы и ее крутые склоны к востоку и югу от Чертовой балки до верховий Саранданакиной балки.

УДК: 551.44

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСЛЕДНИХ СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛОМОРСКО-КУЛОЙСКОГО ПЛАТО

Лускань Е.М.¹, Козыкин А.В.², Еремеев В.Б.³, Шаврина Е.В.⁴

¹ Архангельский центр РГО, г. Архангельск; doronina21659@yandex.ru,

² Национальный парк «Кенозерский», г. Архангельск, gryllus2004@mail.ru

³ Альпика-спецтехнологии, Московское отделение РГО, г. Москва;

ropeworks@mail.ru

⁴ ФГБУ «Государственный заповедник «Пинежский», Архангельская обл., пос. Пинега; elenashavrina@mail.ru

Аннотация: В статье представлены материалы изучения пещерных систем на территории Беломорско-Кулойского плато, приведены уточненные данные об известных ранее пещерах, сведения о новых пещерах и их взаимосвязях, перспективы изучения карстовых процессов и планирования новых поисковых маршрутов.

Ключевые слова: Беломорско-Кулойское плато, пещерные системы, карстовые процессы.

RESULTS AND PROSPECTS OF THE LAST SPELEOLOGICAL RESEARCHES OF THE SOUTHEAST BELOMORSKO-KULOYSKOE PLATEAU

Luskan E.M.¹, Kozykin A.V.², Ereemeev V.B.³, Shavrina E.V.⁴

¹ Russian Geographical Society, Arkhangelsk regional branch, Arkhangelsk; doronina21659@yandex.ru

² Kenozero National Park, Arkhangelsk; gryllus2004@mail.ru

³ Alpika - Special Technologies, Russian Geographical Society, Moscow branch, Moscow; ropeworks@mail.ru

⁴ FSI «The Pinezhsky State Nature Reserve», Arkhangelsk obl., vel. Pinega; elenashavrina@mail.ru

Abstract: The article contains the information materials acquired due to the caves' research at the territory of the Belomorsko-Kuloiskoe plateau; the authors present specified data about previously known caves, information about new caves and its' interconnections, prospects for the study of the karst processes and for planning a new search routes.

Key words: Belomorsko-Kuloiskoe plateau, cave systems, karst process.

Беломорско-Кулойское плато (БКП) расположено на севере Архангельской области между Белым морем, реками Кулой и Пинега и является территорией широкого развития древнего и современного карста.

Системное изучение пещер началось в 60-х годах XX в. с комплексного карстово-спелеологического, ландшафтно-геоботанического и флористического изучения междуречья Кёлды, Сотки и Пинеги, в которых участвовала Ленинградская секция спелеологии (ЛСС). В этот период на территории БКП найдены такие крупные пещеры как Ленинградская, Юбилейная, им. Географического Общества, им. Леонида Земляка, Большой и Малый Холодильник, Карьеловский Провал [3]. Результаты работ послужили важным аргументом при обосновании ценности территории и необходимости придания ей охранного статуса – создания в 1974 году в юго-восточной части плато Пинежского государственного заповедника.

В последующем изучение карстовых процессов на БКП было продолжено Карстовым отрядом Архангельской геологической службы и сотрудниками заповедника. Из крупнейших пещер детально исследованы Кумичёвка, Конституционная, Пехоровский Провал, Большая Пехоровская, Китеж, Ледяная Волна, Голубинский Провал, им. Д.Н. Сабурова и другие [1].

Особенности геологического строения и рельефа обусловлены активным проявлением карстовых процессов, связанных с растворением сульфатных пород поверхностными и подземными водами. Карст юго-восточной части БКП представляет собой комплекс разнопорядковых форм типичного карстового, карстово-ледникового и сложного происхождения. В результате материковых оледенений на дневной поверхности или в близком залегании оказались легкорастворимые сульфатные породы. Современный облик рельефа сложился около 9 тыс. лет назад к моменту отступления последнего – поздневалдайского ледникового покрова. На территории заповедника площадью 25-20 км представлены все варианты типичных и уникальных форм северного карста [5].

В последнее десятилетие в рамках многолетней программы по изучению и документации карстовых пещер на территории Пинежского заповедника и его охранной зоны объединенной исследовательской группой спелеологов проводятся экспедиционные работы по исследованию пещер и спелеоводоносных систем (Сабуровская, Карьеловская, Кумичевская, Голубинская и др.) как генетически взаимосвязанных систем обводненных пещер, в которые входят полости, расположенные в области питания, транзита, разгрузки подземных карстовых вод, и в которых основной сток концентрируется в пещерных звеньях [2].

Спелеоводоносная система Сабуровская расположена в юго-восточной части заповедника, где находится ряд пещер и скрытая под землей гидрографическая сеть водотоков, вместе образующие единую гидрогеологическую систему, отвечающую за дренирование указанной территории (рис.1). Преимущественно подземная гидрографическая сеть объединена центральным водотоком – подземной рекой Сабурова, относящейся к водосбору реки Пинеги. В спелеоводоносную систему входит 16 известных в настоящее время пещер суммарной протяженностью более 12 км, самые крупные из которых приурочены непосредственно к реке Сабурова. Длина четырех пещер превосходит 1 км: им. Д.Н. Сабурова (1104 м), Нижняя Сабуровская (1084 м), Пехоровский Провал (2261 м), система пещер Северный Сифон-Среднесеверная (6239 м).

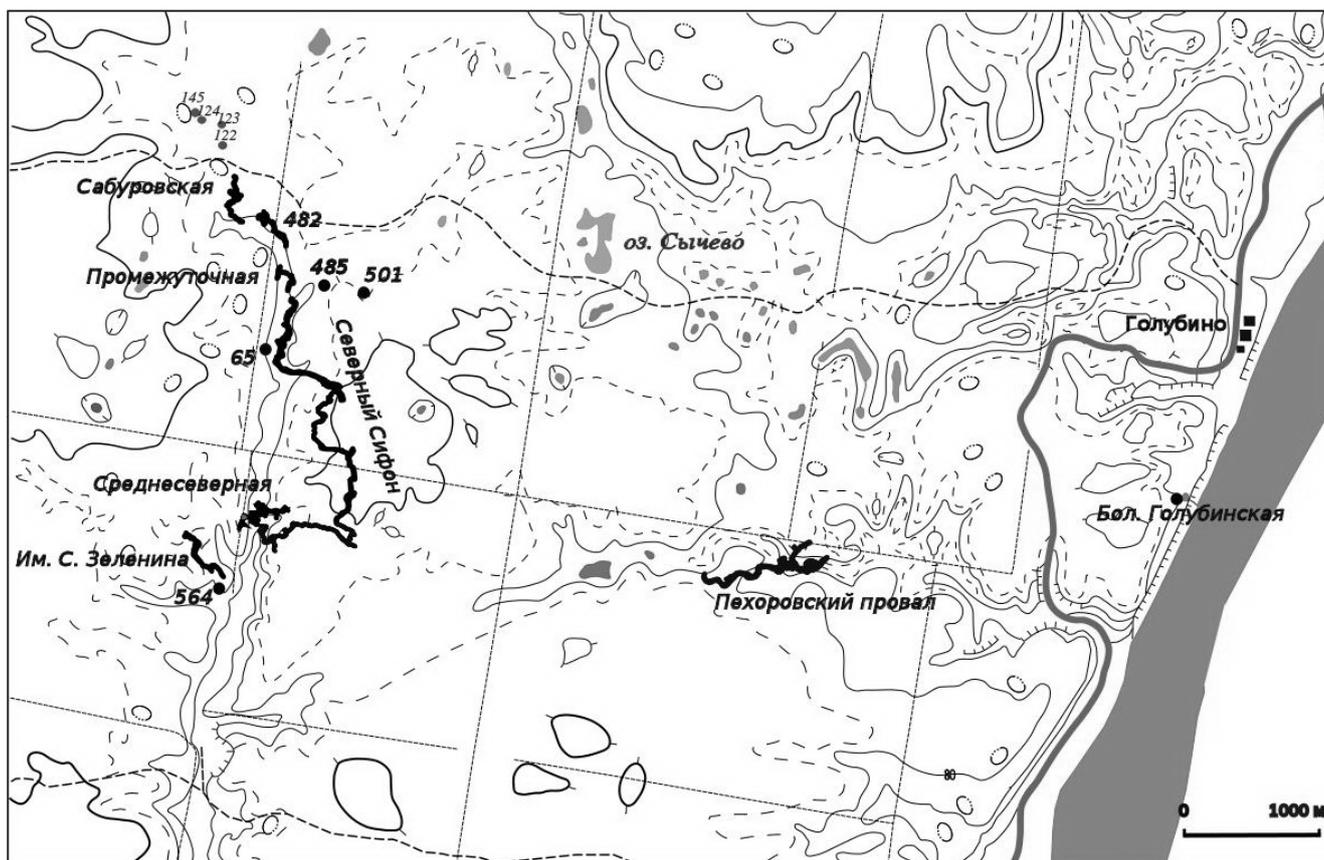


Рис.1. Схема спелеоводоносной системы Сабуровской.

При анализе топографических материалов пещеры Северный Сифон (4617 м) выяснилось, что крупный боковой ход в дальней части пещеры подошел вплотную к борту Северного Лога, где была найдена новая пещера – Среднесеверная (1100 м). Объединение этих пещер стало возможным в результате работ в 2013-2016 гг. по расчистке рыхлых наносов, заполнявших древний пещерный канал, идущий от привходо-вого зала пещеры Среднесеверной по направлению к пещере Северный Сифон. С целью соединения расчищено более 25 м хода, объем перемещенного вручную под землей щебнисто-песчано-глинистого материала составил 9 куб. м. В результате топосъемки новых районов общая длина системы пещер составила 6239 м. Таким образом, пещерная система Северный Сифон-Среднесеверная, превысив 6 км, является третьей по длине из крупнейших пещерных систем Беломорско-Кулойского плато.

В ноябре 2016 года в южной части территории спелеоводоносной системы Сабуровской была найдена новая пещера (№ 573). Разведанная часть оценивается в 200 м и представляет собой фрагменты обвальных залов, каррозионных проработок в коренном контуре гипсов, действующих и осушенных водопадных камер глубиной до 6 м и нижний ярус с проходящим по нему потоком.

Соединение пещер в системы и нахождение новых пещер указывают на перспективы дальнейших работ в отдельных звеньях спелеоводоносной системы Сабуровской.

Работы по уточнению топосъемки и привязки ходов пещер спелеоводоносной системы Карьеловской были начаты в 2013 г. с пещеры Драконья (найденная в 1984

г. ЛСС). При обработке материалов выяснилось, что дальняя часть пещеры соединяется с уже известной частью пещеры Карьеловский Провал с входом в днище старой провальной воронки.

В 2014 году была проведена подробная топоморфометрическая съемка пещеры Водопадной. В результате первопрохождения новых ходов пещер Водопадная и Драконья-Карьеловский Провал удалось соединить пещеры в единую спелеосистему длиной 2411 м.

Тогда же еще в одной пещере Карьеловского лога – Большой Холодильник проведена полная топоморфометрическая съемка (первичная съемка выполнена в 1973 г. ЛСС), в том числе неизвестных ранее ходов, в результате чего длина пещеры составила 1060 м. Соединены две ветви в дальней части пещеры и открыт новый зал, названный в честь Ленинградского Горного Института.

В охранной зоне заповедника на выходе реки Карьелы на поверхность (рис. 2) в ходе поисковых работ были открыты четыре новые пещеры, относящиеся к этой же спелеоводонесной системе. На дне воронки в районе карстового останца восточнее выхода реки Карьелы найден вход в пещеру (№ 568) с размерами привходового колодца 0,5×0,7 м. Пещера лабиринтного типа с множеством коренных колонн и перспективами прохождения 150 м.

При осмотре левого борта Карьеловского лога в районе выхода реки Карьелы обнаружены две полости с сильным потоком воздуха, почти полностью закрытые в привходовой части ледяными натеками, вследствие чего определить в зимний период перспективы проходимости не удалось. Под северным бортом лога в 50-100 м западнее выхода реки Карьелы из-под земли и в 7 м над дном лога найдена еще одна новая пещера (№ 572), разведанная часть которой оценивается в 250 м.

Таким образом, результаты последних работ в транзитных и разгрузочных звеньях Карьеловской спелеоводонесной системы указывают на перспективность дальнейших спелеоэспедиций. Особый интерес представляют питающие и разгрузочные звенья системы.

В 2015 г. при осмотре прибортовой части пещеры Голубинская-1 обнаружен ход, ранее закрытый ледяной пробкой, соединяющий с пещерой Сочельник. Длина системы пещер Голубинская-1 – Сочельник составляет 440 м, она относится Северо-голубинской спелеоводонесной системе.

В 2010-2015 гг. проведена топосъемка пещеры Красногорской, вход в которую расположен в борту уступа БКП. В пещере протекает постоянный ручей, имеется мощный водопад [4]. Пещера является транзитной ветвью крупного подземного водотока и звеном спелеоводонесной системы, требующей выявления области питания и разгрузки, детального изучения и идентификации.

Пещеры в сульфатных породах значительно менее устойчивы, чем карбонатные, особенно уязвимы их привходовые участки. За период спелеологического изучения территории БКП входы ряда пещер закрылись обвалами, но, учитывая активность экзогенной геодинамики территории, вероятность вскрытия новых пещерных входов, новых районов в уже известных пещерах, соединения пещер в системы остается значительной.



Рис.2. Скальные обнажения на разгрузке реки Карьелы. Борт Беломорско-Кулойского плато.

Крупнейшие пещеры Беломорско-Кулойского плато – пещерные системы Кумичевка-Визборовская, Северный Сифон-Среднесеверная, Конституционная, Олимпийская-Ломоносовская, пещеры Золотой Ключик, Симфония и другие крупные спелеогеографические открытия XX в., как и новые спелеосистемы и пещеры, открытые в XXI в. – результаты многолетних трудов спелеологов-исследователей, дающие новые возможности для исследований и указывающие на перспективы дальнейшего изучения территории.

Литература

1. Гуркало Е.И., Бутаков О.В. Региональная база данных пещер Архангельской области. – Архангельск, 1998-2018.
2. Максимович Г.А. Основы карстоведения. – Пермь, 1969. - Т.2. – 529 с.
3. Саенко И.И., Рейхберг. Хроника изучения ленинградскими спелеологами пещер Пинево-Северодвинской карстовой области. // Сб. Пещеры Пинево-Северодвинской карстовой области. Л., 1974. – С 16-21.
4. Шаврина Е.В., Бутаков О.В. Красногорская пещера – крупное спелеологическое открытие на Пинежье. Пещеры: сб. науч. трудов. Естественнонаучный ин-т Пермского гос. нац. иссл. ун-та Пермь, 2012. - Вып.35. – С. 13-19.
5. Шаврина Е.В., Малков В.Н. Морфология и развитие поверхностного карста. // Компоненты экосистем и биоразнообразие карстовых территорий Европейского Севера России (на примере заповедника «Пинежский»). – Архангельск, 2008. – С 16-31.

УДК: 551.44

КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПЕРВИЧНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПЕЩЕРЫ ТАВРИДА (ПРЕДГОРНЫЙ КРЫМ)

Амеличев Г.Н.¹, Токарев С.В.¹, Самохин Г.В.¹, Вахрушев Б.А.¹, Старцев Д.Б.²

¹*Институт спелеологии и карстологии Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Крымское региональное отделение Русского географического общества, Симферополь, Республика Крым, lks0324@yandex.ru*

²*Зоологический музей Таврической академии Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, dbstarcev@gmail.com*

Аннотация: В сообщении рассматриваются история открытия и результаты первичного обследования крупнейшей карстовой полости крымского Предгорья – пещеры Таврида. Анализируется уникальная гидрогеологическая обстановка, в которой протекали спелеогенетические процессы. Отмечается специфика и взаимосвязь подземных форм, их лабиринтовый характер организации. Особое внимание уделено пещерным отложениям, среди которых наибольшую ценность представляет тафоценоз ископаемых животных эоплейстоценового возраста. Комплекс диагностических признаков указывает на гипогенное происхождение пещеры и ее дальнейшее развитие в законсервированном состоянии на протяжении почти всего четвертичного периода.

Ключевые слова: карстовая полость, гипогенный спелеогенез, морфология, пещерные отложения, тафоценоз.

KARSTOLOGICAL AND SPELEOLOGICAL MATERIALS OF PRELIMINARY SURVEY OF TAURIDA CAVE (PIEDMONT CRIMEA)

Amelichev G.N.¹, Tokarev S.V.¹, Samokhin G.V.¹, Vakhrushev B.A.¹, Startsev D.B.²

¹*Institute of Speleology and Karstology of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Crimean regional branch of the Russian geographical society, Simferopol, lks0324@yandex.ru*

²*Zoological muzeum of Taurida academy of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, dbstarcev@gmail.com*

Abstract: The report deals with the history of the discovery and the results of the preliminary survey of the largest karst cave of the Piedmont Crimea - the Taurida cave. A unique hydrogeological situation, in which speleogenetic processes took place, is analyzed. Specificity and interrelation of underground forms, their labyrinth nature of organization are noted. Particular attention is paid to cave deposits, among which the most valuable is the tafocenosis of fossil animals of Eopleistocene age. The complex of

diagnostic signs indicates the hypogene origin of the cave and its further development in a conserved state for almost the entire Quaternary period.

Keywords: karst cave, hypogene speleogenesis, morphology, cave deposits, tafocenosis.

В июне 2018 г. при строительстве федеральной автотрассы «Таврида» была вскрыта крупная карстовая полость в известняках, получившая такое же название. Работы на строительстве были приостановлены для проведения спелеологических исследований, выяснения научной ценности пещеры и степени ее опасности для строящегося объекта.

Авторами была выполнена топографическая съемка карстовой полости, для чего использовался лазерный дистометр с угломером и встроенным компасом Disto X, совмещенный с электронным планшетом, что позволяет непосредственно под землей выстраивать нитку хода в автоматическом режиме. В ходе съемочных работ было установлено, что пещера представляет собой крупный горизонтальный лабиринт, протяженность которого на 24.07.2018 составила 1238 м (сумма длин между пикетами съемочной сети). Полость имеет перспективы увеличения размеров за счет исследования небольших боковых ходов и проникновения через завалы в другие пока недоступные части лабиринта, выявленные в ходе проведенных геофизических работ.

Пещера Таврида располагается на 17 км автодороги Симферополь-Керчь, у абсолютной отметки 330 м в.у.м. Этот участок приурочен к восточной периферии Симферопольского поднятия и входит в состав куэстовой моноклинали [11]. Пещерное поле (кластер) заложено у восточного края структурного склона Внутренней гряды в междуречье Бештерека и Фундуклы (рис. 1). В этом месте бровка куэсты возвышается над днищем долины р. Фундуклы (приток р. Зуя) на 50-80 м. Такой же перепад высот наблюдается в долине Бештерека. К югу бровка выгибается дугой и исчезает, сливаясь с междуречным водоразделом.

Внутренняя гряда на междуречном участке сложена эоценовыми известняками и мергелями, погружающимися к северо-западу. Ее южный выступ окружают подстилающие песчано-гравийные толщи мазанской свиты готерива. Разделяющий эти породы на других участках Внутренней гряды альбский глинистый водупор здесь отсутствует. Поэтому ранее, когда территория не была расчленена консеквентными реками и входила в состав Белогорского артезианского палеобассейна, на участке активно функционировала система напорного перелива подземных вод из отложений мазанской свиты в эоценовые известняки [1]. Восходящая миграция вод сопровождалась спелеогенезом в гидравлически закрытых условиях, который поддерживался благодаря эффекту коррозии смешивания глубинных флюидов и пластовых вод [12]. Сквозьформационные флюидопроводящие системы концентрировались вдоль всей Предгорной сутуры, особенно плотно располагаясь на месте закладывавшихся поперечных сбросов постмиоценового возраста [3]. Появление этих сбросов стало началом раскрытия структур артезианского палеобассейна. Оно стимулировало активизацию водообменных и спелеогенетических процессов в пещерных кластерах Тавриды и Волчьего грота, способствовало разработке консеквентных долин Бештерека, Фундуклы, Зуи и их растущего дренарующего влияния на пещерные сети междуречья.

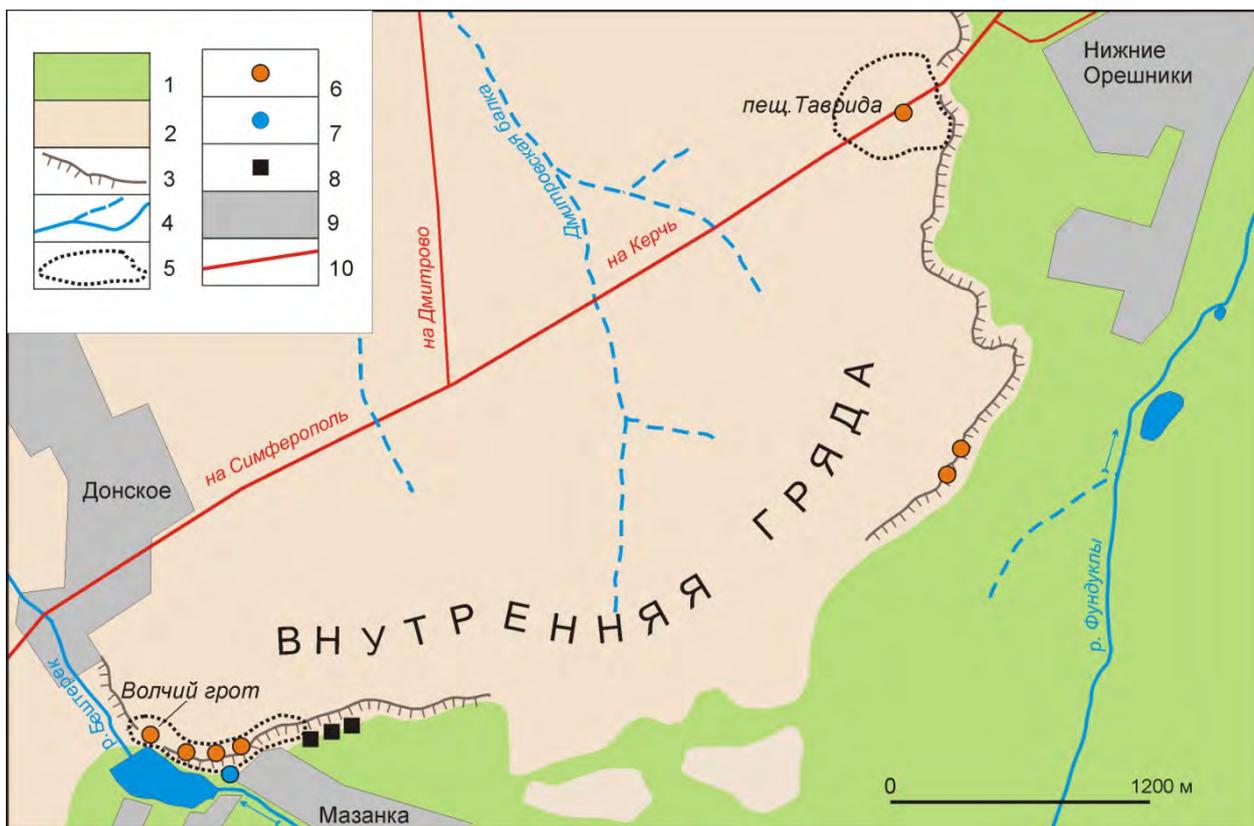


Рис. 1. Внутренняя гряда в междуречье Бештерек-Фундуклы и ее карстопроявления.

Условные обозначения: 1 – мазанская свита K_{1g} (пески, гравий), 2 – эоценовые известняки и мергели Pg_2 , 3 – бровка куэсты, 4 – основные реки и балки, 5 – гипогенно-карстовые кластеры, 6 – поверхностные и подземные карстопроявления, 7 – самоизливающая скважина, 8 – подземное овощехранилище, 9 – населенные пункты, 10 – основные автодороги.

В ходе дальнейшего развития активизация структур Симферопольского поднятия в альпийскую горообразовательную эпоху стимулировала смещение рек, текущих на север, к правому борту. Это обусловило развитие правосторонней асимметрии долин [7], выразившееся в формировании правобережных обрывов и вскрытию ими гипогенных пещер, заключенных в толще береговых пород. По мере снижения водности Бештерека, Фундуклы и Зуи эрозионное расчленение в долинах прорыва через Внутреннюю гряду сменилось гравитационным отседанием обрывов по закарстованным трещинам. Правостороннее расширение долин привело с одной стороны к значительному разрушению и сокращению пещерных лабиринтов в восточных бортах, а с другой - к относительно частому обновлению и длительной визуализации вскрывающихся реликтовых форм. Так в правом борту долины р. Зуя у с. Литвиненково располагается хорошо изученный Кентугайский пещерный кластер [1], который является сильно разрушенным аналогом подземной сети пещеры Таврида. Так же в восточном борту р. Бештерек у Волчьего грота расположено известное обнажение реликтовых гипогенных карстопроявлений. В то же время пещерные кластеры на левобережьях отмеченных консеквентных рек, где в целом преобладают процессы аккумуляции наносов, могут долго находиться в законсервированном состоянии под толщей аллювиальных и делювиальных от-

ложений. Пещера Таврида яркий и, вероятно, не последний пример такой консервации.

Отмеченные условия заложения пещеры Таврида и ее история развития коренным образом отразились на полостной морфологии, сформировав классический хорошо узнаваемый облик гипогенно-карстового объекта. Конфигурация пещерной сети показала, что полость принадлежит к лабиринтовому типу. Ее основные ходы и боковые проходы располагаются на одном высотном уровне. Главная галерея протягивается с юго-запада на северо-восток на 150 м от входа (рис. 2). С юго-запада она замыкается глыбовым завалом, уходящим под действующую автодорогу. От входа до завала полость имеет максимальные размеры как в высоту (до 12 м), так и в ширину (до 7 м). Ее пол здесь располагается на глубине 13-15 м от уровня входного отверстия. Своды подходят близко к поверхности (2-8 м) и обладают слабой несущей способностью. В них развита разветвленная сеть восходящих карстовых каналов, забитых глиной. Эти каналы фиксируются и на поверхности в дорожной выемке. В дальней заваленной глыбами части хода на основании геофизических данных, указывающих на продолжение мощной аномалии разуплотнения пород, выполнен искусственный прокоп. Он позволил пройти под дорогой в 100-метровую ветку северо-западного направления, которая пока заканчивается глиняной пробкой. Северо-восточный конец главной галереи подходит близко к бровке куэсты, оканчиваясь плоской узостью, в которой наблюдается капель и мелкие молодые сталактиты.

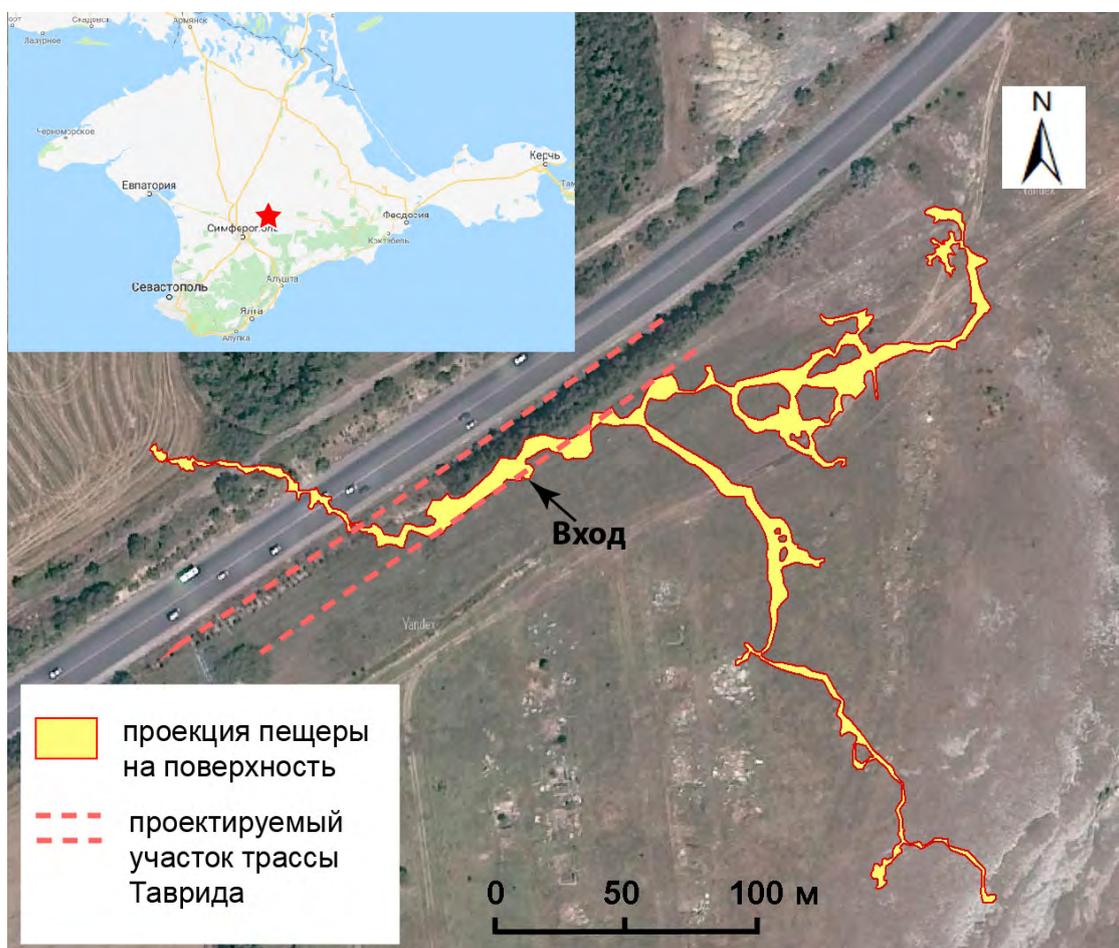


Рис. 2. План пещеры Таврида на местности.

Юго-восточная ветка пещеры получила название Змеиной галереи. Она несколько меньше в размерах и дальней частью тоже близко (5-10 м) подходит к склону куэсты. Как и в главной галерее в ней ярко представлен весь морфологический комплекс восходящих потоков - фидеры, подвески-пенданты, стенные желоба, ниши и карманы, потолочные арки и многочисленные купола и каминны.

Маршрутными наблюдениями установлено, что температура воздуха в пещере составляет 12°C, а влажность достигает 96-97%. Отмечено низкое (18%) содержание кислорода. Воздухообмен затруднен, тяга слабая либо отсутствует.

Важным маркером генезиса пещеры и истории ее развития являются отложения. В пещере широко представлены остаточные и водно-механические красноцветные глинистые отложения. Они выполняют стенные ниши и днища основных галерей. Первые из них более древние и соответствуют гипогенной обстановке спелеогенеза, вторые - были занесены с поверхности в эоплейстоцене и связаны с эпигенным механизмом карстообразования. Обилие глины и характер ее размещения указывают на условия низко динамичной водной среды, существовавшей до осушения. Поверхность глин во многих местах представляет собой корку, армированную мелкими кристаллами гипса. Водно-хемогенные отложения (натёки) практически отсутствуют. Это говорит о хорошей гидроизоляции пород кровли (очевидно глинами) и относительно недавнем денудационном снятии покровных отложений эоцена.

В пещере широко распространены покровы из лунного молока. Они представляют собой творожистый слой на поверхности стен мощностью в несколько сантиметров. Генезис этого типа отложений дискуссионен. Согласно исследованиям, выполненным в Институте спелеологии [4, 12, 13], лунное молоко может представлять собой изотопно-измененную глубинными флюидами породу (алтерит), которая внешне не отличается от пород целика, но при воздействии агентов денудации наиболее активно вступает в химические реакции и в первую очередь поддается разрушению. В Змеиной галерее, лежащей недалеко от поверхности, в летний период активно формирующаяся конденсационная влага насыщает алтеритную кайму стен, превращая ее в лунное молоко.

Важнейшую роль в истории развития пещеры и окружающих ее ландшафтов играют органогенные отложения, представленные костяными брекчиями, обнаруженными в Змеиной галерее. Извлеченный и предварительно обработанный костный материал свидетельствует об уникальном, длительно существовавшем логове древних хищников (в том числе гиен). По характеру формирования оно схоже с известным Одесским тафоценозом. Почти все кости фрагментированы, несут следы погрызов и царапины от когтей. Предварительно возраст тафоценоза оценивается как раннечетвертичный (0,8-1,5 млн. лет), т.е. более древний, чем в пещере Эмине-Баир-Хосар (Чатырдаг, Горный Крым). Большинство видов - это животные, существовавшие до ледникового периода. Среди костей выделяются останки южного слона, этрусского носорога, эламотерия, крупного верблюда, быков и лошадей нескольких видов, большерогого оленя, винторогих антилоп, дикобраза. В числе остатков хищников обнаружены кости гиен (*Pachicrocuta* sp), нескольких видов псовых, медведя и саблезубой кошки (*Homotherium* sp). Кроме того, найде-

ны копролиты гиен и псовых, что свидетельствует о том, что различные участки пещеры использовались как убежища разными группами хищников. Ранее в Крыму было известно только два небольших местонахождения эоплейстоценовых животных [2, 8] и несколько одиночных находок [5, 6, 9, 10 и др.]. Пещера Таврида представляет собой единственный в Крыму столь древний пещерный тафоценоз великолепной сохранности, существенно уточняющий представления о характере природы на границе неогенового и четвертичного периодов.

Научно-информационный и познавательный потенциал пещеры Таврида является мощной базой для создания научно-исследовательского стационара и рекреационно-туристического спелеокомплекса всероссийского масштаба.

Литература

1. Амеличев Г.Н., Климчук А.Б., Тимохина Е.И. Спелеогенез в меловых и эоценовых отложениях долин рек Зуя и Бурульча (восточная часть Предгорного Крыма) // Спелеология и карстология - № 7. – Симферополь. – 2011. - С. 52-64.
2. Борисьяк А.А. Севастопольская фауна млекопитающих // Тр. геол. ком., нов. сер., вып. 137, 1915. – 47 с.
3. Душевский В.П., Лысенко Н.И. Возраст разрывных нарушений Восточно-Крымского предгорья // Бюлл. МОИП, отд. геологии, 53 (1), 1978. – С.51-53.
4. Климчук А.Б., Тимохина Е.И., Амеличев Г.Н., Дублянский Ю.В., Шпётль К. Гипогенный карст Предгорного Крыма и его геоморфологическая роль. – Симферополь: DIP, 2013. – 204 с.
5. Лисенко М.І. Мастодонт (*Tetralophodon aff. longirostris* Caup.) з пліоценових відкладів Криму // 36. праць Зоологічного музею Інституту зоології АН УРСР. 31. – Київ: Вид-во АН УРСР, 1962. – № 31. – С. 52–55.
6. Лысенко Н.И. О новой находке гиппариона в плиоцене Крыма // Палеонтологический журнал, 1960. № 3. - С. 139–140.
7. Лысенко Н.И. О причинах асимметрии речных долин Крыма //Изв. ВГО, 1966, т.98. С.357-361.
8. Подгородецкий П.Д. Находка раннечетвертичной фауны позвоночных на Тарханкутском полуострове и ее значение для палеогеографии Крыма // Изв. Крымск. отд. ВГО. - Симферополь, 1961. - Вып. 6. - С. 31-44.
9. Ратехін Є.О. Знахідка носорога в пліоценових відкладах південно-західної частини Криму // Вісник Київського університету, 1966. – С.16-18.
10. Соколов Н. А. *Mastodon arvernensis* и *Hipparion gracile* из третичных образований Крыма //Тр. СПб. о-ва естествоиспытателей, 1882. – 14 с.
11. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. – Симферополь: DIP, 2011. - 336 с.
12. Klimchouk A.B., Tymokhina E.I., Amelichev G.N. Speleogenetic effects of interaction between deeply derived fracture-conduit flow and intrastratal matrix flow in hypogene karst settings // International Journal of Speleology. - Tampa, FL (USA). – 2012. - Vol. 41. - № 2. – P. 161-179.
13. Klimchouk A., Amelichev G., Tymokhina E., Dublyansky Y. Hypogene Speleogenesis in the Crimean Piedmont, the Crimea Peninsula // Hypogene Karst Regions and Caves of the World / Ed. A. Klimchouk et al. – Springer, 2017. – P.407-430.

СОДЕРЖАНИЕ

**Геологические исследования закарстованных территорий и
отложения карстовых полостей**

<i>Кадебская О.И., Дублянский Ю.В., Шпётль К.</i> Современное состояние исследований по изучению пещерного криогенного кальцита (палеоклиматических маркеров) на территории РФ.....	3
<i>Пасынков А.А., Пасынкова Л.А., Вахрушев Б.А.</i> Комплексирование дистанционных и прямых геологических методов при выделении обводненных зон в пределах Караби-яйлы.....	8
<i>Юдин В.В.</i> Проблемы основания Чатырдагского и Караби-Долгоруковского карстовых массивов в Крыму.....	14
<i>Ковалёва Т.Г.</i> Оценка карстоопасности территорий на основе общегеологического подхода.....	19
<i>Нещеткин М.О.</i> Морфология карстовых провалов в условиях покрытого карста.....	23
<i>Щербаков С.В.</i> Роль механизма образования провала в инженерно-карстологическом прогнозе.....	26
<i>Гулько А.А.</i> Проблемы подработанных территорий в окрестностях Казани.....	31
<i>Глоба К.Н., Богомаз М.В.</i> Трёхмерное моделирование карстового массива Кунгурской Ледяной пещеры и Ледяной горы.....	35
<i>Фаге А.Н., Ельцов И.Н.</i> Опыт использования метода электротомографии и трёхмерного численного моделирования для локализации карстовых зон на месторождениях известняка.....	39
<i>Красиков А.В.</i> Структурные элементы краевой части массива Ледяной горы (на примере грота Вышка).....	45
<i>Лаврова Н.В.</i> Обвальные отложения в ландшафте спелеосистем.....	49
<i>Морозов О.Н.</i> Наблюдения за пещерными льдами в многолетнемерзлых породах Витимского плоскогорья.....	53
<i>Базарова Е.П.</i> Вторичные карбонаты пещеры Холодная (Западное Прибайкалье).....	58
<i>Червяцова О.Я., Потапов С.С., Дбар Р.С.</i> Условия заложения и морфогенетические особенности Новоафонской пещеры (Абхазия).....	61
<i>Червяцова О.Я., Потапов С.С., Паршина Н.В., Дбар Р.С.</i> Минеральные парагенезисы гипогенной стадии развития Новоафонской пещеры (Абхазия).....	66
<i>Крицкая О. Ю., Остапенко А.А., Сомченко П.В.</i> Геологические и геохимические особенности развития подземных форм сульфатного карста.....	71
<i>Агапов И.А., Хлебалин И.Ю., Ляхницкий Ю.С.</i> Тектонические и эвразийские пещеры возвышенности Соканлинна (Выборгский район Ленинградской области). Морфология, происхождение и история использования.....	76

Мониторинг динамических параметров пещерной среды. Вопросы гидрологии и климата

<i>Дублянский Ю.В., Климчук А.Б., Токарев С.В., Амеличев Г.Н., Шнётль К.</i> Результаты режимных измерений изотопных характеристик атмосферных осадков Крыма в 2010-2014.....	83
<i>Дублянский Ю.В., Лангхамер Л., Шнётль К.</i> Откуда родом крымский дождь?	88
<i>Мавлюдов Б.Р., Кудерина Т.М., Грабенко Е.А., Медведев А.А., Эмба Я.А.</i> Климатическая система Новоафонской пещеры.....	92
<i>Мазина С.Е., Лащенко Т.Н., Киселев С.М., Козлова Е.В., Капралова Д.О.</i> Особенности микроклимата Новоафонской пещеры имени Г.Ш. Смыр.....	97
<i>Шаврина Е.В.</i> Динамические параметры пещер юго-востока Беломорско- Кулойского плато.....	100
<i>Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф.</i> Особенности гидрогеологии верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова.....	105
<i>Казанцева А.С.</i> Особенности динамики изменения химического состава вод иренского водоносного горизонта (на примере Ординской пещеры).....	110
<i>Кудерина Т.М., Мавлюдов Б.Р., Грабенко Е.А., Медведев А.А., Эмба Я.А.</i> Геохимическое состояние поверхностных и подземных вод карстовых ландшафтов ООПТ Абхазии.....	114

**Вопросы биоспелеологии, охрана подземных пространств и
закарстованных территорий**

<i>Амеличев Г.Н., Токарев С.В.</i> Спелеоресурсный потенциал карстовых полостей Крыма и перспективы его использования в природоохранной и рекреационной деятельности.....	119
<i>Головачев И.В.</i> Создание сети ООПТ, как путь сохранения карстовых ландшафтов в окрестностях озера Индер.....	124
<i>Медведева Н.А., Куприянов А.В.</i> ООПТ «Карстовые Озера» - региональный заказник Новгородской области – особенности и перспективы охраны.....	132
<i>Рябова А.С., Кузьмина Л.Ю., Галимзянова Н.Ф.</i> Микробиота грунта пещеры Аскинская (Южный Урал).....	133
<i>Сидорова Л.В.</i> Влияние рекреационной нагрузки и паводка на ферментативную активность грунтов пещеры Шульган-Таш.....	136
<i>Турчинская С.М., Семиколенных А.А.</i> Особенности формирования изотопных профилей углерода в почвоподобных телах под фототрофными сообществами карстовых пещер.....	141
<i>Кузьмина Л.Ю., Галимзянова Н.Ф., Рябова А.С., Сайфуллина Н.М., Сидорова Л.В.</i> Особенности микробиоты привходовой части пещеры Шульган-Таш (Южный Урал).....	144

<i>Турбанова А.А.</i> Структура трофических сетей беспозвоночных животных в пещерных экосистемах.....	149
<i>Турбанов И.С.</i> К познанию гипогейной фауны останцевого массива Баба-Даг и её значение в биоспелеологическом районировании Крыма.....	152

Спелеотуризм и туристско-экскурсионные спелеокомплексы

<i>Ляхницкий Ю.С.</i> 10 проектов пещерных экскурсионных маршрутов карстовой группы ВСЕГЕИ-РГО (Сохранение пещер, как объектов геологического наследия и создание пещерных музеев).....	158
<i>Козлова Н.Н., Наумкин Д.В., Кобелев А.Ю.</i> Развитие подземного экскурсионного пространства: из прошлого в будущее.....	165
<i>Кондратьева С.К.</i> Некоторые проблемы эксплуатации искусственных пещер на примере пещерного комплекса в Больших Дивах.....	170
<i>Артемьев А.Б., Юшко А.А.</i> Новый спелеологический маршрут «Подземная Рускеала»: особенности эксплуатации и перспективы развития.....	174

Спелеологические исследования и проблемы районирования закарстованных территорий

<i>Шелепин А.Л.</i> Спелеологическое районирование в информационно-поисковой системе “Пещеры”.....	180
<i>Долотов Ю.А.</i> Спелеологическое районирование и обзор территории Севастополя.....	182
<i>Лускань Е.М., Козыкин А.В., Еремеев В.Б., Шаврина Е.В.</i> Результаты и перспективы последних спелеологических исследований юго-востока Беломорско-Кулойского плато.....	186
<i>Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Самохин Г.В., Вахрушев Б.А.</i> Карстолого-спелеологические материалы первичного обследования пещеры Таврида (Предгорный Крым)....	191