

Динамика формирования современных субаквальных водно-хемогенных отложений реки Краснопещерной. Результаты полевых экспериментов

Таврический национальный университет имени В.И.Вернадского, г. Симферополь
e-mail: gen-samokhin@yandex.ru

Аннотация. Коррозия и хемогенная седиментация являются важнейшими факторами карстового спелеоморфогенеза. Для понимания динамики формирования современных водно-хемогенных отложений кафедрой земледования и геоморфологии ТНУ имени В.И. Вернадского проведен полевой эксперимент в крупнейшей пещере Крыма – пещере Красная (Долгоруковская яйла). Организовано восемь стационарных пунктов наблюдения в ближней части Красной пещеры и на туфовой площадке вне пещеры. В каждой точке размещались две таблетки – из меди и из известняка. Медные таблетки, используются для предотвращения осаждения микроорганизмов, а известняковые моделируют естественную породу. Точками наблюдения выбраны участки пещеры с различной морфологией и гидродинамическим режимом. Критерием для оценки растворения-аккумуляции принято определение изменения массы таблеток. Параллельно проводится анализ минерализации и температуры воды, зависящей от расхода потока. На медных таблетках в пещере процесс осаждения карбонатов практически не происходил. А вне пещеры, на известняковых таблетках, осаждение карбонатов происходит значительно быстрее, чем на медных. Этот результат подтверждает влияние микроорганизмов на эффективность роста туфа. Эксперимент был рассчитан на время полного гидрологического года. В целом за год на всех участках происходит увеличение массы таблеток. Прослеживается четкая взаимосвязь между повышенной минерализацией водотока и количеством осажденного карбоната кальция. По нашим данным минерализация карстовых вод в пещере Красная убывает вниз по потоку. По результатам серии замеров максимальная минерализация наблюдается в самой дальней от входа точке измерения - пятом сифоне – 0,2161 г/л, и минимальная при выходе из пещеры – 0,19625 г/л. Отклонения минерализации и температуры в большую или меньшую сторону от линейной зависимости объясняются в первую очередь наличием притоков. Значение минерализации и температуры воды во всех притоках отличается от аналогичных показателей в основном русле на 3-8%. Минерализация и температура колеблются в различные сезоны года в пределах 10 %, что зависит от динамики поступления поверхностных и конденсационных вод.

Ключевые слова: карст, Крым, пещера Красная, Долгоруковский массив, туф, гуры, коррозия, карстовая седиментация минерализация карстовых вод, водные хемогенные отложения.

Коррозия является главным карстовым рельефообразующим процессом [1]. Важным фактором в исследовании карста являются полевые эксперименты, направленные на понимание соотношения коррозии и хемогенной аккумуляции в карстовых регионах. Что позволяют глубже понять их роль карстовом и спелеоморфогенезе.

Водные хемогенные отложения пещер Крыма представлены субтерральными (натечными) и субаквальными (кальцитовыми) отложениями [7].

Субаквальные отложения представлены пленками, оолитами, налетами, примазками, корочками, пизолитами, конкрециями, плотинами озер, гурами и др.

Согласно Г. А. Максимовичу [6], гуры возникают в месте роста скорости подземного потока, где благодаря понижению внутреннего давления и некоторому повышению температуры происходит выделение из пересыщенного раствора CO_2 в воздух пещеры и рост кальцитовой плотины вверх. Гуриобразование обусловлено комплексным гидромеханотермодинамическим геохимическим барьером

Налеты, примазки и корочки на стенах карстовых полостей, в зоне периодического затопления паводковыми водами, имеют средний химический состав, значительно отличающийся от состава вмещающих известняков (рис. 1). Для них характерно резко пониженное содержание CaO (22,8%) и CO_2 (27%), повышенное содержание окисей марганца (20%), кремния (15,8%), полуторных окислов железа (6,8%) и алюминия (5,5%). Суммарное количество окислов марганца в виде MnO и MnO_2 в отдельных пробах достигает 35%. На основе анализа полученных данных, В.Н.Дублянский предположил [3], что высокой концентрации аксессуарных элементов способствует жизнедеятельность бактериальной микрофлоры, развивающейся на стенках карстовых полостей близ раздела воздух-вода. Их развитию благоприятствует сравнительно холодная вода карстовых полостей (6—11° С) и поступление значительного количества органических веществ с паводковыми водами [8]. Данное предположение исследовалось, наряду с другими задачами, в поставленном нами эксперименте.

Отложения известковых туфов на поверхности, формирующиеся у комплексного биомеханотермодинамического барьера [4,13], имеют химический состав, средний между составом

вещающих известняков и натечных отложений (рис. 1). В известковых туфах отмечено повышенное содержание окислов железа, кремния и фосфора, что вполне соотносится с условиями их образования [12].

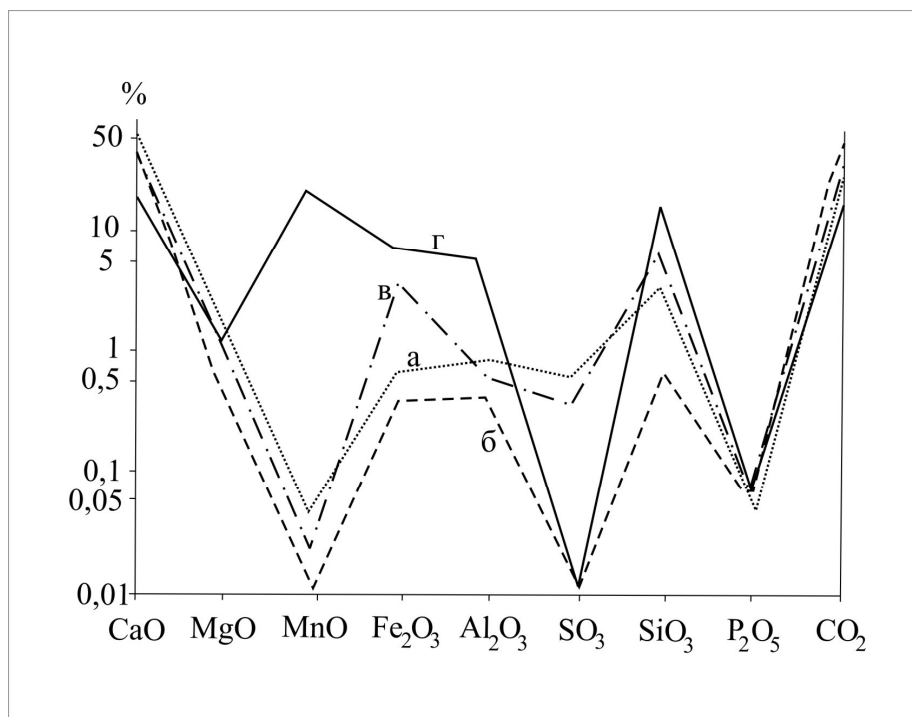


Рис. 1. Средний химический состав вмещающих известняков и отложений карстовых полостей: а - известняки; б - сталактиты, сталагмиты, оолиты; в - известковые туфы; г - коры на стенах (по [3])

Многообразие типов известкового туфа обусловлено их генетическими особенностями. К основным условиям влияющих на формирования туфов можно отнести:

1. Геологические - наличие карбонатных пород, особенности залегания, трещиноватости и тектонических разломов.
2. Гидролого-гидрохимические - наличие, насыщенной карбонатом кальция воды, особенности водного объекта и его гидродинамики.
3. Геоморфологические - положение в рельефе (русло, склон, терраса и др.), влияние русловых и склоновых процессов, уклон земной поверхности.
4. Климатические и микроклиматические условия - преимущественно теплая и влажная внешняя среда.
5. Биологические - влияние живых организмов на формирование туфов
6. Антропогенные - туфы, как динамические системы, активно реагируют на результаты человеческой деятельности [15,9].

При пространственном и временном совпадении указанных условий могут возникать физико-химические барьеры, результатом которых является выпадение из раствора (водного потока) карбоната кальция с образованием соответствующих генетических форм рельефа. При определении седиментационной способности карстовых вод применима ...«третья и четвертая геохимическая ситуация имеющая геолого-геоморфологическое выражение в карбонатном карсте» [2].

Коррозия, хемогенная седиментация и эрозия являются парагенетическим комплексом спелеогенеза [2]. Наиболее распространенная реакция, приводящая к осаждению CaCO_3 , является дегазация насыщенных бикарбонатом кальция подземных вод, которой управляет температура, химический состав и гидродинамика потока (включая скорость потока, мутность, глубину воды и площадь поверхности). Формирование химического состава подземных вод начинается непосредственно с поверхности плато и сопровождается образованием поверхностных макро-, мезо- и микроформ.

Классическим полигоном подземных карстологических исследований является пещера Красная (Долгоруковская яйла, Крым) [5, 10, 11].

Кафедрой землеведения и геоморфологии ТНУ имени В.И. Вернадского был поставлен полевой эксперимент с целью выявления факторов, влияющих на темпы роста и структуры современных туфов вне пещеры и условий седиментации и коррозии в турбулентном потоке подземной реки. Организовано восемь стационарных пунктов наблюдения в ближней части Красной пещеры и на туфовой площадке вне пещеры (рис. 2).

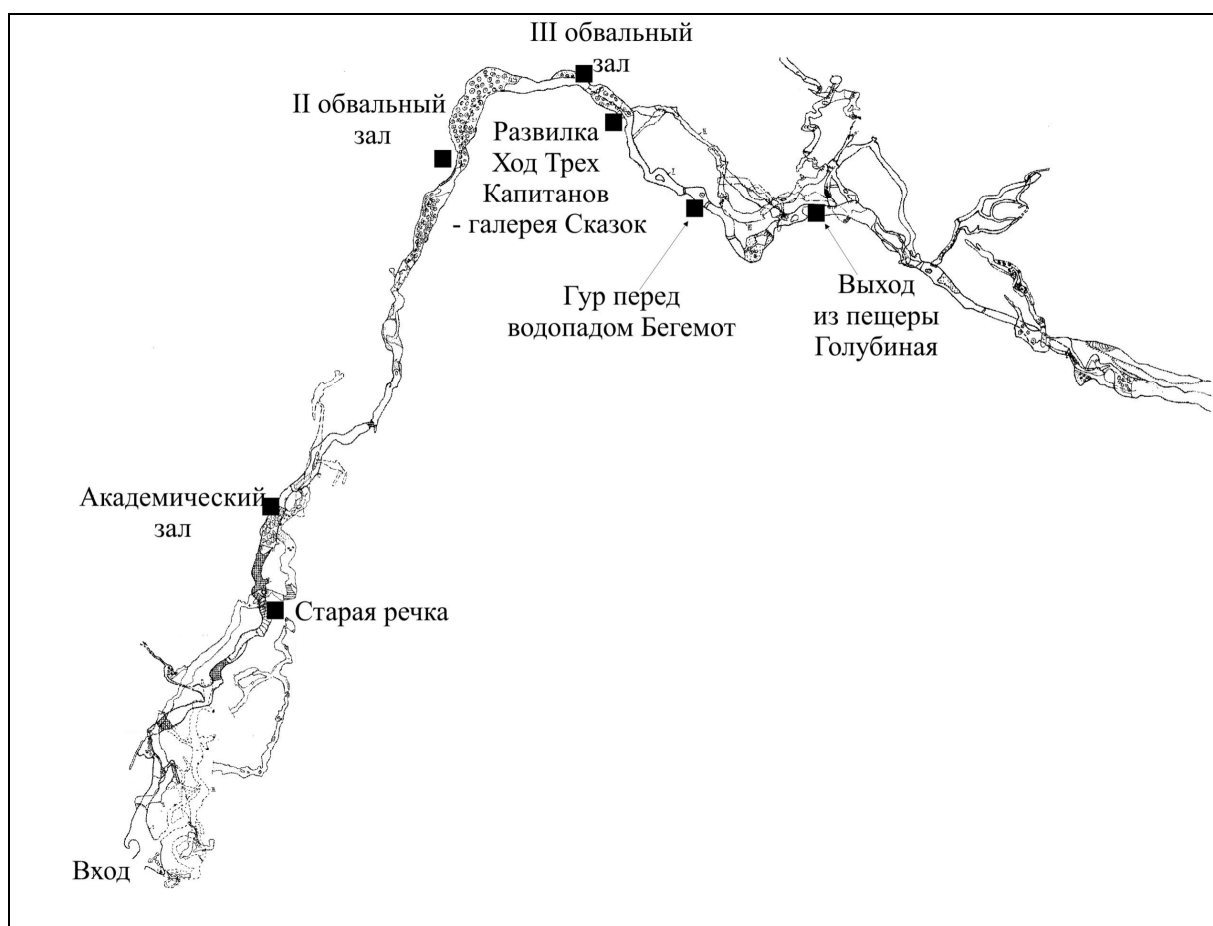


Рис 2. План-схема размещения таблеток в пещере Красная

В каждой точке размещались две таблетки – из меди и из известняка (рис. 3). Медные таблетки, используются для предотвращения осаждения микроорганизмов, а известняковые моделируют естественную породу. Данный эксперимент проводился по методике изучения туфов разработанной в Польше и Словакии [14]. Таблетки имеют вид прямоугольных пластин 1,5х2,5 см толщиной 5 мм.

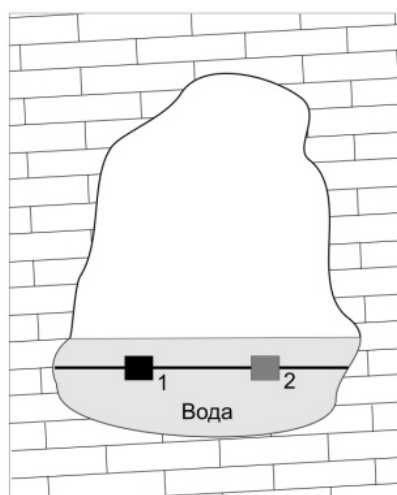


Рис. 3. Схема размещения таблеток в русле подземной реки (1- известняковая таблетка, 2- медная таблетка)

Точками наблюдения выбраны участки пещеры с различной морфологией и гидродинамическим режимом (возле водопада, на подводном ребре гуровой плотины, на дне озера и среди водномеханических отложений). Критерием для оценки растворения-аккумуляции принято определение изменения массы таблеток. Для нахождения величины прироста карбонатов каждую таблетку взвешивали перед установкой и после ее удаления, предварительно просушив ее. Измерение массы проводилось в лаборатории кафедры общей химии Таврического национального

университета имени В.И.Вернадского. Точность измерения 0,0001 гр. Авторы выражают особую благодарность, за оказанную помощь кандидату химических наук К.В.Работягову. Параллельно проводится анализ минерализации и температуры воды, зависящей от расхода потока. Темпы роста туфа, с одной стороны, напрямую связаны с концентрацией карбоната кальция в воде, с другой стороны, - вещественным составом поверхности оседания. На медных таблетках в пещере процесс осаждения карбонатов практически не происходил. А вне пещеры на известняковых таблетках, осаждение карбонатов происходит значительно быстрее, чем на медных. Этот результат подтверждает влияние микроорганизмов на эффективность роста туфа.

Эксперимент был рассчитан на время полного гидрологического года. Накопления карбоната кальция на разных участках пещеры и в разные сезоны отличается. Установлено, что с сентября 2012 по март 2013 в устойчивую межень, насыщение карбонатом кальция подземных вод достигло максимума. С приближением весеннего периода, поступление талой агрессивной воды и с увеличением расхода, начинался обратный процесс – растворение таблеток. В летний период также происходил процесс растворения. При этом в целом за год на всех участках происходит увеличение массы таблеток. Прослеживается четкая взаимосвязь между повышенной минерализацией водотока и количеством осажденного карбоната кальция.

Быстрорастущие туфы имеют кристаллическую структуру и состоят из покрытых коркой нитевидных водорослей. Медленно растущие туфы обладают микритовой структурой. Комковатая микритовая структура с многочисленными диатомовыми водорослями образуется в основном в зимний период, а рост туфов, сложенных нитевидными водорослями характерен для весны и лета.

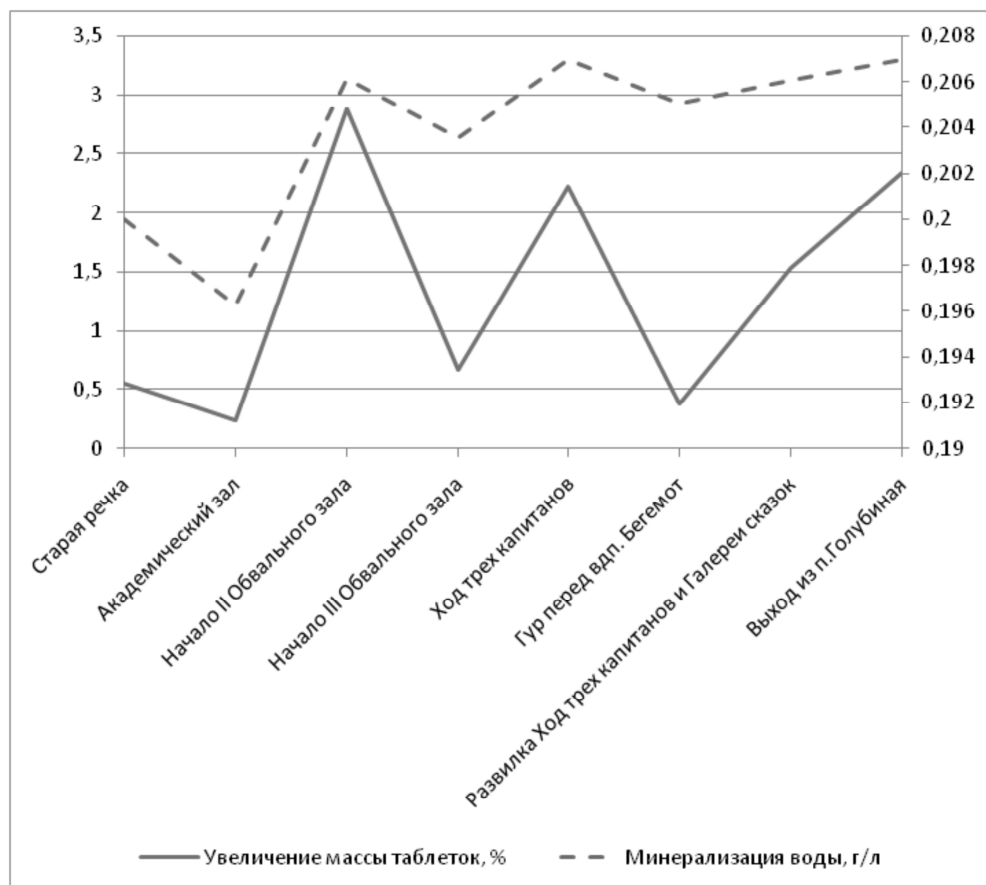


Рис. 4. Зависимость прироста массы известняковых таблеток от минерализации воды по профилю пещеры Красная, по данным 2012-2013 гг.

Процессы седиментации и коррозии в различных гидродинамических условиях дают основание сделать предварительные выводы о динамическом равновесии воды Краснопещерной реки.

По нашим данным минерализация карстовых вод в пещере Красная убывает вниз по потоку (рис. 5).

Все измерения проводились в основном русле подземной реки в зоне турбулентного движения воды – при условии «кинетического прорыва». Вероятно, максимум насыщения подземных вод карбонатами происходит либо при ламинарном потоке, либо при небольших скоростях турбулентных рассеянных потоков. Такие условия существуют кроме эпикарстовой зоны, в зоне субвертикального, нисходящего движения подземных вод.

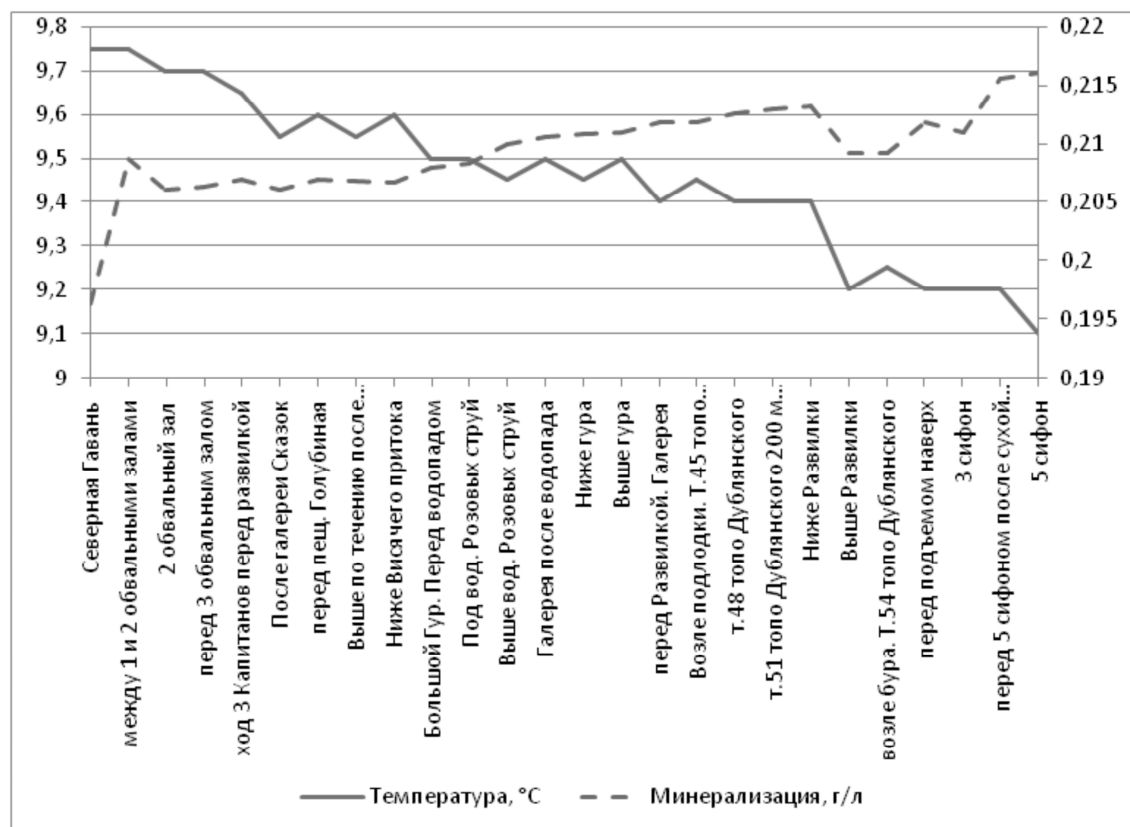


Рис. 5. Минерализация и температура воды в основном русле пещеры Красная на участке пятый сифон - северная гавань

Таким образом, по результатам серии замеров максимальная минерализация наблюдается в самой дальней от входа точке измерения - пятом сифоне – 0,2161 г/л, и минимальная при выходе из пещеры – 0,19625 г/л. Уменьшение минерализации воды вниз по потоку имеет не строгую линейную зависимость. Отклонения в большую или меньшую сторону зависят в первую очередь от наличия притоков. Значение минерализации и температуры воды во всех притоках отличается от аналогичных показателей в основном русле на 3-8%. Причем температура всегда выше в притоках, а минерализация может быть как выше, так и ниже чем в основном русле. Температура воды увеличивается вниз по течению. Максимальная средняя температура 9,75 °C на входе в пещеру, минимальная средняя температура 9,1 °C в пятом сифоне. Минерализация и температура колеблются в различные сезоны года в пределах 10 %, что зависит от скорости и объема подземных вод. То есть от динамики поступления поверхностных и конденсационных вод. В результате эксперимента установлено, что в целом за год на всех исследуемых участках пещеры происходит увеличение массы таблеток. Прослеживается четкая взаимосвязь между повышенной минерализацией водотока и количеством осажденного карбоната кальция. Увеличение прироста массы за год колеблется в пределах 0,24-2,88 %.

Так как вода на выходе из пещеры в максимальной степени деминерализована, отложение туфов вне пещеры практически не происходит. Образование же самой крупной туфовой площадки Крыма, расположенной возле пещеры Красная, происходило в четвертичный период, при других термобарохимических барьерах.

Литература

1. Вахрушев Б. А. О генетическом содержании карстового рельефообразующего процесса / Б. А. Вахрушев // Спелеология и карстология. - №2, 2009. - С. 30-35
2. Вахрушев Б. А. Роль гидрохимических превращений в карстовом геоморфогенезе / Б. А. Вахрушев // Спелеология и карстология. - № 4. - Симферополь. - 2010. - С. 33-43.
3. Дублянский В. Н. Состав водных хемогенных и механических отложений карстовых полостей Горного Крыма / Дублянский В. Н., Полканов Ю. А. // Пещеры. - Пермь: ПГУ, 1977. - Вып. 14-15. - С. 32-37.
4. Дублянский В. Н. Генезис и гидрогеологическое значение карстовых полостей Украины. - Автореф. дисс.... докт. геол.-мин. наук. - Пермь, 1971. - 43 с.
5. Красная пещера. Опыт комплексных карстологических исследований / [Дублянский В. Н., Вахрушев Б. А., Амеличев Г. Н., Шутов Ю. И.] - Москва: РУДН, 2002. - 170 с.
6. Максимович Г. А. Гуры. / Г. А. Максимович // Пещеры, вып. 10—11, Пермь, 1971. стр. 48

7. Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. 1. / Г. А. Максимович - Пермь, 1963.
8. Овчинников А. М. Гидрогеохимия. / А. М. Овчинников - Изд-во, «Недра», М, 1970.,
9. Самохин Г. В. Известковые туфы Долгоруковского карстового массива в Крыму/ Г. В. Самохин // Ученые записки ТНУ м. В.И. Вернадского; сер. География. Том 27 (66). - 2013. - № 1. - С.60-79.
10. Самохин Г. В. Новейшие карстолого-спелеологические исследования массива Долгоруковская яйла / Г. В. Самохин // Ученые записки ТНУ м. В.И. Вернадского; сер. География. Том 23 (62). - 2010а. - № 1. - С.69-77.
11. Самохин Г. В. Спелеологические исследования Долгоруковского массива (Крым) / Г. В. Самохин // Свет, 2010б. - №36, - С. 32-35.
12. Четвертичные известковые туфы Горного Крыма / [Дублянский В. Н., Баженова Л. Д., Башкин А. И., Тесленко Ю. В.] ; - К, 1982. - 33 с. (Препринт ИГН АН УССР 82-3).
13. Шутов Ю. И. Обводненность и типы вод Ялтинского горного массива. / Ю. И Шутов / Комплексные изыскания при строительстве гидротоннеля в карстовой области Горного Крыма Симферополь, 1971. С 124-151.
14. Gradziński M. Factors controlling growth of modern tufa: results of a field experiment // Geological Society, London, Special Publications January 1, 2010, v. 336, p. 143-191
15. Pentecost, A. Travertine, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers Group. 2005. - 446 p.

Анотація. Г.В. Самохін, Е.Ю. Шарко **Динаміка формування сучасних субаквальних водно-хемогенних відкладень річки Червонопечерна. Результати польових досліджень.** Корозія і хемогенним седиментація є найважливішими факторами карстового спелеоморфогенеза. Для розуміння динаміки формування сучасних водно- хемогенних відкладень кафедрою землезнавства та геоморфології ТНУ імені В.І. Вернадського проведено польовий експеримент у найбільшій печері Криму - печері Червона (Довгоруковська яйла). Організовано вісім стаціонарних пунктів спостереження в ближній частині Червоної печери і на туфовий майданчиком поза печери. У кожній точці розміщувалися дві таблетки - з міді та з вапняку. Мідні таблетки, використовуються для запобігання осадження мікроорганізмів, а вапнякові моделюють природну породу. Точками спостереження обрані ділянки печери з різною морфологією і гідродинамічним режимом. Критерієм для оцінки розчинення - акумуляції прийнято визначення зміни маси таблеток. Паралельно проводився аналіз мінералізації і температури води, що залежить від витрати потоку. На мідних таблетках в печері процес осадження карбонатів практично не відбувався. А поза печери, на вапнякових таблетках, осадження карбонатів відбувається значно швидше, ніж на мідних. Цей результат підтверджує вплив мікроорганізмів на ефективність зростання туфу. Експеримент був розрахований на час повного гідрологічного року. В цілому за рік на всіх ділянках відбувається збільшення маси таблеток. Простежується чіткий взаємозв'язок між підвищеною мінералізацією водотоку і кількістю обложеного карбонату кальцію. За нашими даними мінералізація карстових вод в печері Червона убиває вниз по потоку. За результатами серії замірів максимальна мінералізації спостерігається в найдальшій від входу точці виміру - п'ятому сифоні - 0,2161 г / л, і мінімальна при виході з печери - 0,19625 г / л. Відхилення мінералізації і температури в більшу або меншу сторону від лінійної залежності пояснюється в першу чергу наявністю приток. Значення мінералізації і температури води у всіх притоках відрізняється від аналогічних показників в основному руслі на 3-8 %. Мінералізація і температура коливаються в різні сезони року в межах 10 %, що залежить від динаміки надходження поверхневих і конденсаційних вод.

Ключові слова: карст, Крим, печера Червона, Довгоруковський масив, туф, гури, корозія, карстова седиментація мінералізація карстових вод, водні хемогени відкладення.

Abstract. G. V. Samokhin, E.Yu. Sharko **Dynamics of formation modern subaqueous water chemical deposits river by Krasnopeshcherna. Results of field experiments.** Corrosion and chemical sedimentation are the major factors karstic speleomorphogenesis. For understanding of dynamics of formation modern water chemical deposits by chair of physical geography and geomorphology of Taurida National Vernadsky University is made field experiment in the largest cave of the Crimea – a Red cave (Dolgorukovskaya yaila). The organized Eight stationary points of supervision in near part of the Red cave and on a tuff platform out of a cave. In each point took place two tablets – from copper and from limestone. Copper tablets, are used for prevention of sedimentation of microorganisms, and calcareous model natural breed. Cave sites with various morphology and a hydrodynamic mode are chosen as points of supervision. Criterion for an assessment of dissolution accumulation definition of change of mass of tablets is accepted. The analysis of a mineralization and the water temperature depending on an expense of a stream is in parallel carried out. On copper tablets in a cave process of sedimentation of carbonates practically didn't happen. And out of a cave, on calcareous tablets, sedimentation of carbonates happens much quicker, than on the copper. This result confirms influence of microorganisms on efficiency of growth of a tufa. Experiment was intended for time of full hydrological year. As a whole in a year on all sites there is an increase in mass of tablets. The accurate interrelation between the raised mineralization of a waterway and quantity of the besieged carbonate of calcium is traced. According to our data the mineralization of karstic waters in a cave Red decreases down on a stream. By results of a series of measurements maximum mineralizations it is observed in the most distant from an entrance to a measurement point - the fifth siphon – 0,2161 g/l, and minimum at an exit from a cave – 0,19625 g/l. Mineralization and temperature deviations in the big or smaller party from linear dependence is explained first of all by existence of inflows. Value of a mineralization and water temperature in all inflows differs from similar indicators in the main course for 3-8%. The mineralization and temperature fluctuate during various seasons of year within 10% that depends on dynamics of intake of surface and condensation waters.

Keywords: karst, Crimea, cave Red, Dolgorukovsky massif, tufa, gour, corrosion, karstic sedimentation mineralization of karstic waters, water chemical deposits.

Поступила в редакцію 04.02.2014 з.