



А.Б.Климчук, Г.В.Самохин, Ю.М.Касьян

Глубочайшая пещера Мира на массиве Арабика (Западный Кавказ) и ее гидрогеологическое и палеогеографическое значение

Klimchouk A.B., Samokhin G.V. & Kasjan Yu.M. The deepest cave in the world in the Arabika Massif (Western Caucasus) // Speleology and Karstology, - Vol. 1. – Simferopol. – 2008. – P.100-104.

Климчук О.Б., Самохин Г.В., Касьян Ю.М. Найглибша пещера світу на масиві Арабіка (Західний Кавказ) // Спелеологія і карстологія, - № 1. – Сімферополь. – 2008. С. 100-104.

Резюме: Арабика – выдающийся массив высокогорного карста на Западном Кавказе, сложенный нижнемеловыми и верхнеюрскими известняками, погружающимися на юго-восток, к побережью Черного моря и под уровень моря. Центральная часть массива на высотах 2000-2700 м характеризуется выраженным гляциокарстовым рельефом и содержит несколько глубоких пещер, в т.ч. глубочайшую в мире пещеру Крубера-Воронья, недавно исследованную до глубины 2191 м. Экспериментами по трассированию подземных вод, проведенными в 1984-1985 гг. установлено, что пещера Крубера гидравлически связана с крупными источниками на побережье Черного моря и очагами субмаринной разгрузки, при общем направлении стока поперек основных складчатых структур. Пещера Крубера имеет крутой профиль и выявляет огромную мощность вадозной зоны, нижняя граница которой находится на отметках около 110 м, что дает очень низкий гидравлический градиент (0,007-0,008). Выявление скважинами в прибрежной зоне маломинерализованных вод на глубинах 40-280, 500, 1750 и 2250 м н.у.м. указывает на существование глубокой системы стока с активной циркуляцией. Субмаринная разгрузка у побережья Арабики установлена до глубин около 400 м н.у.м. На шельфе у подножья Арабики выявлена огромная замкнутая котловина с максимальной глубиной около 400 м. Совокупность этих данных указывает на возможность того, что карстовая система Арабики закладывалась в период Мессинского кризиса (5.96 – 5.33 млн. лет), когда черноморская впадина могла быть почти осушена подобно Средиземному морю, где уровень понизился на 1600 м. Последующие развитие мощной вадозной зоны и сверхглубокой пещеры связано с поднятиями в течение плиоцена-плейстоцена, дифференцированными по блокам между прибрежным сектором (0.1-0.2 км общего поднятия) и центральным сектором (2-2,5 км) Арабики. Ключевые слова: карст; гидрогеология карста; глубокие пещеры; Арабика; Крубера; Воронья; Западный Кавказ; Черное море; колебания уровня моря.

Резюме: Арабика - видатний масив високогірного карсту на Західному Кавказі, складений нижньокрейдовими і верхнеюрськими вапняками, що поринають на південний схід, до узбережжя Чорного моря й під рівень моря. Центральна частина масиву на висотах 2000-2700 м характеризується вираженим гляціокарстовим рельєфом і містить кілька глибоких печер, у т.ч. найглибшу у світі пещеру Крубера- Вороняча, нещодавно досліджену до глибини 2191 м. Експериментами по трасуванню підземних вод, проведеними в 1984-1985 рр. встановлено, що пещера Крубера гідралічно пов'язана з великими джерелами на узбережжі Чорного моря й осередками субмаринного розвантаження, при загальному напрямку стоку впоперек основних складчастих структур. Пещера Крубера має дуже крутий профіль і виявляє величезну потужність вадозної зони, нижня межа якої перебуває на відмітках близько 110 м, що дає дуже низький гідралічний градієнт (0,007-0,008). Виявлення свердловинами в прибережній зоні маломінералізованих вод на глибинах 40-280, 500, 1750 і 2250 м н.у.м. вказує на існування глибокої системи стоку з активною циркуляцією. Субмаринне розвантаження на узбережжя Арабики встановлене до глибин близько 400 м н.у.м. На шельфі у підножжя Арабики виявлена величезна замкнена улоговина з максимальною глибиною близько 400 м. Ці факти вказують на можливість того, що карстова система Арабіки закладалась в період Месинської кризи (5.96 - 5.33 млн. років тому), коли чорноморська западина могла бути майже осушена, подібно Середземному морю де рівень понизився на 1600 м. Наступні розвиток потужної вадозної зони й надглибокої печери пов'язані з підняттями протягом пліоцену- плейстоцену, диференційованими по блоках між прибережним сектором (0.1-0.2 км загального підняття) і центральним сектором (2-2,5 км) Арабіки. Ключові слова: карст; гідрогеологія карсту; глибокі печери; Арабика; Крубера; Вороняча Західний Кавказ; Чорне море; коливання рівня моря.

Abstract: Arabika is an outstanding high-mountain karst massif in the Western Caucasus composed of Lower Cretaceous and Upper Jurassic limestones continuously dipping southwest to the Black Sea shore and plunging below the sea level. The central sector (elevations within 2000-2700 m) is characterized by pronounced glacio-karstic landscape and hosts several deep caves including the deepest cave in the world (Krubera-Voronja Cave) recently explored to the depth of -2191 m. Dye tracing experiments conducted in 1984-1985 revealed that the Krubera Cave area is hydraulically connected with major springs at the Black Sea shore and the submarine discharge, with the flow directed across major fold structures. Krubera Cave has an extremely steep profile and reveals a huge thickness of the vadose zone. Its lower boundary is at elevation of about 110 m, which suggests a very low overall hydraulic gradient of 0.007-0.008. Reported low salinity groundwater tapped by boreholes in the shore area at depths 40-280, 500, 1750 and 2250 m, which suggests the

© А.Б.Климчук^{1*}, Г.В.Самохин¹, Ю.М.Касьян²

¹ Український Інститут спелеології і карстології МОНУ і НАНУ, Сімферополь, Україна

² Українська спелеологічна Асоціація, Київ, Україна

* Кoresпoндуючий автор. E-mail: klim@speleogenesis.info

existence of deep flow system with vigorous flow. Submarine discharge in the Arabika coast is reported at depths up to ca. 400 m bsl. Huge closed submarine depression is revealed at the sea-floor in front of Arabika with the deepest point of ca. 400 m bsl. These facts point to a possibility that the main karst system in Arabika could have originated in response to the Messinian salinity crisis (5.96 – 5.33 Myr) when the Black Sea could have almost dried up, similarly to the adjacent Mediterranean where the sea level drop up to 1600 m is well established. Further development of the huge vadose zone and a super-deep cave have been caused by subsequent uplifts during Pliocene-Pleistocene, highly differential between the shore sector (0.1-0.2 km of total uplift) and the central sector (2-2.5 km) of Arabika. Key words: Karst, karst hydrogeology; deep caves; Arabika; Krubera; Voronja; Western Caucasus; Black Sea; sea level changes.

Карстовый массив Арабика в Абхазии является одним из самых крупных и высоких массивов в известняковой полосе Западного Кавказа (рис. 1). Исследования в 80-90-х годах прошлого столетия спелеологами Украины, России, Белоруссии и Молдовы выявили выдающийся потенциал разведывания тут глубочайшей карстовой пещеры Мира (Климчук, 1990). В период 1999-2007 гг. экспедициями Украинской спелеологической Ассоциации (рук. Ю.Касьян) этот потенциал был полностью реализован в пещере Крубера-Воронья. Она стала новой глубочайшей пещерой планеты по итогам экспедиции 2001 года, когда была исследована до глубины 1710 м, что на 80 метров превысило глубину предыдущей глубочайшей пещеры (Лампрехтсофен, Австрия, -1630 м) и впервые переместило “подземный полюс” планеты за пределы

Западной Европы. В 2004 году, впервые в истории спелеологии, в пещере Крубера был преодолен двухкилометровый рубеж глубины (-2080 м), в 2006 году достигнута глубина 2158 м, а в 2007 году – 2191 м. Разрыв по глубине между пещерой Крубера и пещерой Снежная, ныне второй в списке глубочайших пещер Мира, составляет 440 м, - беспрецедентная ситуация в истории мировой спелеологии.

Общегеографическое значение этих исследований сравнимо с первыми покорениями Северного и Южного полюсов, высочайшей вершины планеты и глубочайшей впадины Мирового Океана. В 2005 году журнал *National Geographic* отнес исследование пещеры Крубера к наиболее выдающимся географическим первопрохождениям. На 13-м (Бразилия, 2001 г.) и 14-м (Греция, 2005 г.) Конгрессах

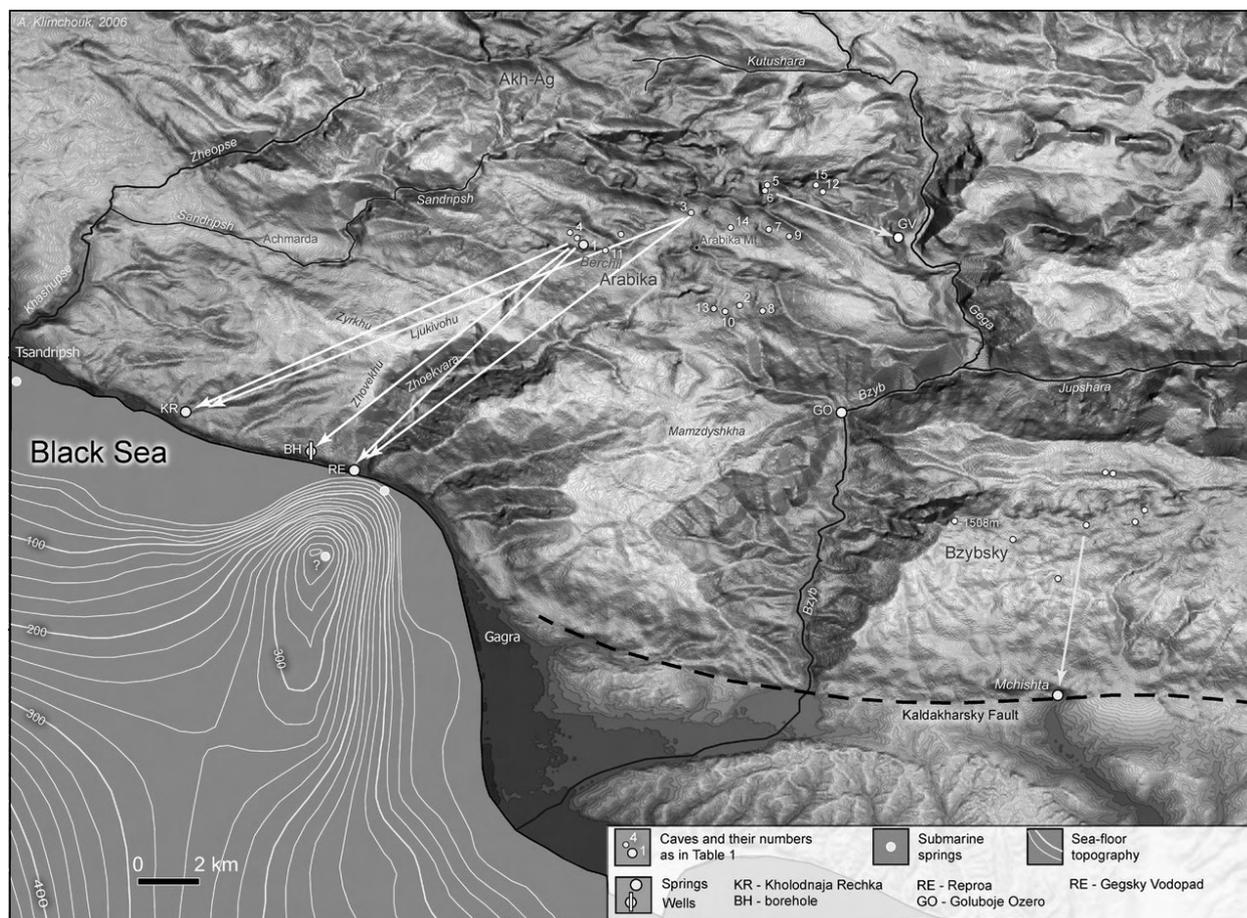


Рис. 1. Рельефная спелео-гидрологическая карта массива Арабика. Кружками и цифрами обозначены крупные пещеры, буквенными индексами – крупные источники (см. в тексте). Стрелками показаны гидрогеологические связи пещер и источников по данным трассирования подземных вод. Основу карты составляет цифровая модель рельефа, построенная по данным радарной топографии SRTM30. Контуры батиметрии шельфа построены по материалам глобального пакета высот суши и глубин моря SRTM30_Plus (NASA; Smith & Sandwell, 1997).

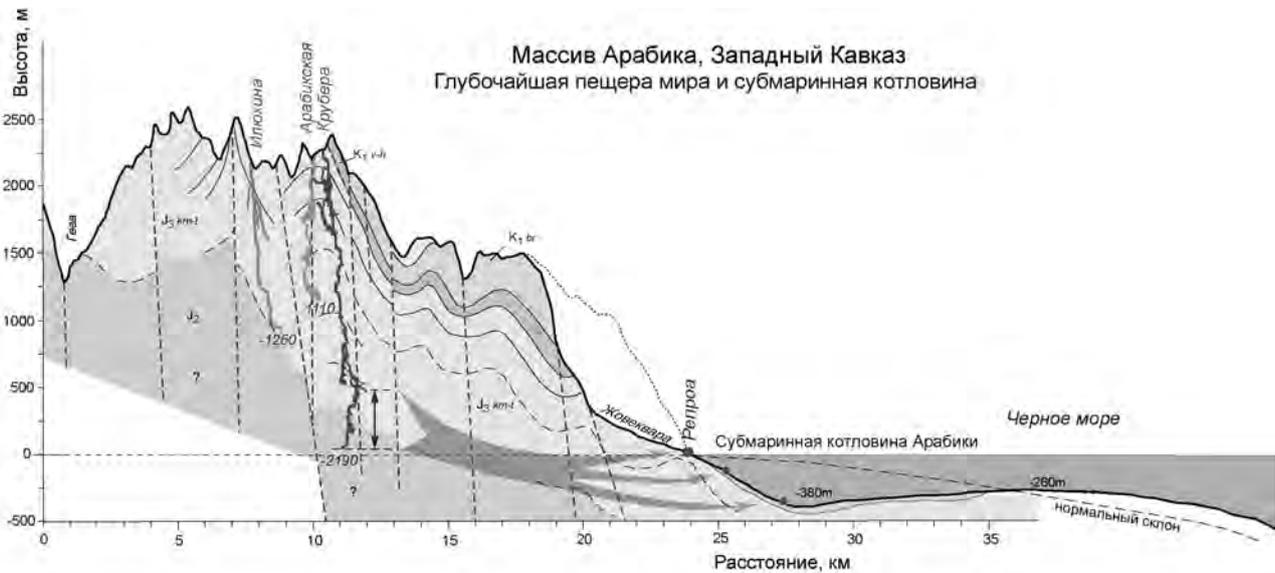


Рис. 2. Схематический геологический и спелео-гидрогеологический профиль массива Арабика и прилегающей субмаринной котловины (по Климчук, 2006).

Международного спелеологического Союза Украинская спелеологическая Ассоциация за исследования пещеры Крубера удостоивалась специального приза «За самое выдающееся спелеологическое открытие».

В результате спелеологических исследований последних десятилетий на Арабике открыто и изучено несколько сотен вертикальных полостей, около 40 из которых являются крупными (свыше 100 м глубиной), а 5 относятся к категории крупнейших, имеющих глубину свыше 1000 м: Дзоу, -1090 м (номер 6 на рис. 1); Арабикская, -1110 м (4); Илюхина, -1240 м (3); Сарма, -1543 м (2); Крубера, -2191 м (1). Разведывание пещеры Крубера и других глубоких пещер района сопровождалось их морфологическим картированием и рядом специальных исследований. Это позволило получить уникальные данные по строению, гидрогеологическому поведению и геотермике карстовых систем в мощной (до 2145 м) вадозной зоне, уточнить геологическое и тектоническое строение массива, кардинально изменить представления о гидрогеологии горного карста региона, выявить роль позднеплейстоценовых оледенений в развитии карстовых полостей, обосновать древний (позднемиоценовый) возраст заложения карстовых систем Арабика и выявить роль колебаний уровня Черного моря в формировании глубочайшей пещеры планеты (Климчук, Рогожников, 1984; Klimchouk, Yablokova, 1990; Климчук, 1990; Klimchouk, 1991; Климчук, Касьян, 2006; Климчук, 2006).

Массив Арабика ограничен каньонами рек Куту-Шара, Гега и Бзыбь на севере и востоке, побережьем Черного моря на юго-западе, долинами рек Хашупсе и Сандрипш на западе (рис. 1). Выделяется удаленная от побережья компактная центральная часть массива с вершинами 2500-2700 м и закарстованными площадями на высотах 1900-2400 м. Южнее и юго-западнее располагаются средне- и низковисотные отроги, выходящие к черноморскому побережью на участке Сандрипш (Гантиади) - Гагра. Массив сложен верхнеюрскими и нижнемеловыми известняками (рис. 2). В его структуре выделяется крупная антиклиналь общекавказского простиранья, юго-западное пологое

крыло которой осложнено небольшими складками и разломно-блоковыми деформациями и погружается в море. Северо-восточное крыло короткое и крутое. Оледенения центральной части массива в течение плейстоцена привели к удалению зрелого эпикарста и формированию типичного альпийского гляциокарстового рельефа с цирками и троговыми долинами. В продольном профиле трогов выделяются ригели и гляциокарстовые депрессии. Карстовые водоносные системы дренируются через крупные источники у подножий массива: Гегский Водопад, 1,5 м³/с (GV на рис. 1); Голубое Озеро, 3,0 м³/с (GO); Репроа, 2,0 м³/с (RE); Холодная Речка, 1,2 м³/с (KR), источники в Гаграх, а также субмаринные источники на участке Сандрипш-Гагра, на глубинах от нескольких до 400 м.

Разломно-блоковый контроль структуры пещерных систем и подземного стока массива. Проведенные исследования опровергли прежние представления (Кикнадзе, 1972, 1979) о существовании на Арабике этажной системы водоносных бассейнов, контролируемых складками общекавказского простиранья и некарстующимися прослоями. По этим представлениям связь центральной части массива с источниками на побережье (поперек простиранья складчатости) не допускалась, а подземный сток центральной части массива направлялся в сторону Адлера поднекарстующийся покров, либо к долине Бзыби – источнику Голубое Озеро. «Слабокарстующимся» слоям в толще карбонатных пород приписывалась роль водоупоров, разделяющих массив на этажные подземные бассейны – всего на Арабике выделялось 10 таких бассейнов. Областью питания прибрежных и субмаринных источников считались только передовые низкорослые хребты Арабика.

В 1984 и 1985 годах карстолого-спелеологическим отрядом ИГН АН Украины были проведены уникальные по масштабам эксперименты по трассированию подземных вод Арабика. Оба эксперимента показали связь пещер Ортобалагана и верховьев Жозекавы с источниками Репроа и Холодная Речка на побережье

(рис. 1). Трассеры были также идентифицированы в скважине, расположенной вблизи устья Холодной Речки и изливавшей воду с глубины свыше 200 м ниже уровня моря (ВН на рис. 1). Эти результаты кардинально изменили представления о гидрогеологии Арабики и выявили истинную глубинную спелеологическую перспективность массива. Ими была доказана связь пещер центральной части массива с источниками на побережье и субмаринной разгрузкой, с ориентацией стока поперек складчатых структур, и установлено наличие тут глубочайшей подземной гидросистемы с амплитудой свыше 2300 м (Климчук, 1990).

Пещера Крубера развита на всю мощность вадозной зоны до низов карбонатного комплекса. Граница фреатической зоны (зоны полного обводнения) достигнута на отметке около 110 м над у.м. Плановая структура глубоких пещер и общее направление стока гидросистемы Арабикская-Крубера демонстрируют доминирующий контроль развития пещер разломными нарушениями.

Гидрогеологическое функционирование вадозной зоны. Установлено регулирующее влияние эпикарстовой зоны на вертикальный нисходящий сток в вадозной зоне (Klimchouk, Yablokova, 1990), а также выявлен огромный (до 400-500 м) размах зоны сезонных колебаний уровня подземных вод в пещере Крубера.

Закарстование во фреатической зоне. Меженное положение уровня фреатической зоны в пещере Крубера (110 м над у.м.) дает удивительно малый, как для горноскладчатых условий, гидравлический градиент – 0,007-0,008. Это указывает на высокую каналовую проницаемость (низкое гидравлическое сопротивление) в нынешней фреатической зоне на всем протяжении от пещеры до источников на побережье (13-16 км). В нижней части Крубера крутонисходящие пещерные каналы пройдены с аквалангами до глубины -46 м под водой (до отметки около 65 м над у.м.), где они сохраняют элементы вадозной (эрозионной) морфологии. Буровыми скважинами в прибрежной полосе маломинерализованные карстовые воды вскрыты на больших глубинах ниже уровня моря (40-280, 500, 1750 и 2250 м; Буачидзе, Мелива, 1967; Кикнадзе, 1979), что указывает на активную карстовую циркуляцию. Наконец, по материалам глобального пакета высот суши и глубин моря SRTM30_Plus (NASA; Smith & Sandwell, 1997) на шельфе напротив Арабики нами выявлена крупная замкнутая субмаринная котловина шириной около 5 км, длиной около 9 км и максимальной глубиной около 380-400 м. Внутренний рельеф (замкнутого контура) котловины составляет 120 м, - она отделена от континентального склона перемычкой на глубине около 260 м (рис. 1 и 2). Подводная котловина Арабики имеет крутые северный и восточный склоны (прилегающие к массиву) и пологие южный и юго-западный склоны. Источник Репроа, близлежащие мелкие очаги субмаринной разгрузки и глубокие очаги, зафиксированные грузинскими гидрогеологами – располагаются в бортах котловины. Происхождение такой котловины может быть только карстовым.

Колебания базиса карстования (уровня моря). Совокупность приведенных данных невозможно объяснить, если предполагать развитие карстовых систем с привязкой к базису карстования на нынешнем

уровне моря или даже в пределах понижений, связываемых с плейстоценовыми регрессиями (по некоторым данным до -150 м). Мы полагаем, что закарстованность нижних (прибрежных) частей массива Арабика закладывалась под влиянием базиса дренирования, находившегося на многие сотни метров ниже современного (Климчук, 2006), что могло иметь место в позднем миоцене, в период Мессинского кризиса – глубокого понижения уровня Средиземного моря (5,96 – 5,33 млн. лет назад). В этот период Средиземное море было изолировано от Океана, его уровень понизился до 1500-1600 м в оставшихся небольших эвапоритовых бассейнах и большая часть территории Средиземноморья была осушена. Новейшими исследованиями западноевропейских карстологов показана огромная роль Мессинского кризиса в формировании карста прибрежных участков Средиземноморья, где глубокая каналовая проработка того времени в ответ на драматическое снижение базиса эрозии оказала большое влияние на последующие развитие карста (Mocochain et al., 2006). Затопленный карстовый рельеф поверхности плато там выявлен на глубинах до 150 м ниже современного уровня моря, а субмаринная разгрузка и карстовые полости – до -700 м.

Гипотеза от том, что Мессинский Средиземноморский кризис аналогичным образом (в смысле глубокого снижения уровня бассейна) проявился в Восточном Паратетисе, была обоснована еще 30 лет назад (Hsu & Giovanoli, 1979), в частности на основе данных глубоководного бурения (DSDP Site 380) и оставалась предметом оживленных дискуссий. Теперь она подтверждается материалами новейших исследований в различных дисциплинах региональной геологии, включающим данные по био- и магнитной стратиграфии ключевых осадочных толщ (Semenenko & Olejnik, 1995; Clauzon et al., Popescu, 2006; Snel et al., 2006), сейсмическому профилированию (выявление Мессинской эрозионной поверхности в западной части Черного моря; Gillet, 2003), шельфовым террасам и структуре глубоководных дельтовых комплексов и др. Эта гипотеза также подтверждается результатами абсолютного датирования натеков из глубоких участков пещеры Крубера (Климчук и др., 2008 - в этом выпуске). Наличие двух дат древнее 200 тыс. лет для натеков из глубоких частей пещеры (макс. 276 тыс. лет) указывает на то, что эти участки уже были сформированы и находились в условия вадозной зоны до (по-видимому, значительно ранее) среднеплейстоценового времени.

Заложенные в мессинское время карстовые системы в известняковых массивах нынешнего побережья, бывшими тогда низко-среднегорными и вступившими в фазу поднятий, оказались затопленными при последующем повышении уровня моря. В послемессинское время активное воздымание массива Арабика происходило дифференцированно по блокам-зонам субкавказского простирания, причем в прибрежной зоне оно было минимальным. За счет преимущественного воздымания центральной части Арабики, особенно интенсивное в плейстоцене, создавался нынешняя огромная вертикальная амплитуда карстовой гидросистемы, но ее гидравлическая целостность - от высоких областей питания до прибрежной и субмаринной зон разгрузки

- сохранялась все время. Наличие позднемиоценовой каналовой проработанности в низких прибрежной и субмаринной зонах «отодвигало» область высокого гидравлического градиента под центральную часть массива – благоприятное условие для развития там субвертикальной пустотности на всю мощность карбонатной толщи по мере ее воздымания. Неоднократные понижения уровня Черного моря в плиоцен-четвертичное время вызывали увеличение градиента в центральной части массива и вадозную активизацию нижних частей карстовой системы - тех, что находятся на уровне и ниже современного базиса дренирования.

Таким образом, эволюцию карста и пещер Западного Кавказа (как, впрочем, и других прибрежных карстовых районов Черноморского региона) необходимо рассматривать с позиций гораздо более низкого, чем современный, положения базиса дренирования во многих эпохах, и с учетом его колебаний в больших пределах. Еще Л.И.Маруашвили (1969, 1970) указывал на то, что колебания уровня Черного моря должны существенно сказываться на формировании карста в приморской части, но «критическая масса» ключевых фактов и знаний для предметной расшифровки и демонстрации этого влияния созревает только сейчас.

Открытие глубочайшей пещеры Мира именно на массиве Арабика не случайно, - для ее формирования тут существовали уникальные геолого-гидрогеологические и эволюционные предпосылки. Исследования пещеры Крубера образуют независимую, карстолого-спелеологическую, линию данных к выявлению важнейших событий палеогеографии черноморского региона.

ЛИТЕРАТУРА

Буачидзе И.М., Мелива А.М. К вопросу разгрузки подземных вод в Черное море в районе г.Гагра // Тр. н-и лаб. гидрогеологии и инж. геол. Груз. политехн. ин-та. – 1967. №3. – С.33-39.

Кикнадзе Т.З. Карст массива Арабика. – Тбилиси: Мецниереба, 1972. – 245 с.

Кикнадзе Т.З. Геология, гидрогеология и активность известнякового карста. – Тбилиси: Мецниереба, 1979. – 232 с.

Климчук А.В. 1990. Карстовые водоносные системы массива Арабика. // Пещеры. Проблемы изучения. – Пермь: Пермск. ун-т. – С. 6-16.

Климчук А. 2006. Глубочайшая пещера на Арабике и эволюция Черного моря // Свет. – 2006. – №2 (31). – С. 33-36.

Климчук А.Б., Касьян Ю.М. Распределение температуры в карстовых системах: данные по глубоким пещерам массива Арабика // Геол. журн. – 2006. – №1. – С.108-115.

Климчук А.Б., Рогожников В.Я. О влиянии позднечетвертичного оледенения на карста массива Арабика, Кавказ // Известия ВГО. – 1984. – Т.116. – №2. – С.112-119.

Маруашвили Л.И. Морфологический анализ карстовых пещер // Очерки по физической географии Грузии. Тбилиси, 1969. – С.5-80.

Маруашвили Л.И. Стадии малого спелеоморфогенетического цикла // Сообщ. АН Груз. ССР. – 1970. –Т.59. – №3.

Clauzon G., Suc J.P., Popescu S.-M., Mărunțeanu M., Rubino J.-L., Marinescu F., Melinte M.C. Influence of the Mediterranean sea-level changes over the Dacic Basin (Eastern Paratethys) in the Late Neogene. The Mediterranean Lago Mare facies deciphered // Basin Res. – 2005. – 17. – P.437–562.

Gillet H., Gilles L., Renault J-P., Dinu C. La stratigraphie oligo-miocene et la surface d'erosion messinienne en mer Noire, stratigraphie sismique haute resolution // Geoscience. – 2003. – 335. – P.907-916.

Hsü, K.J., Giovanoli, F. Messinian event in the Black Sea. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. – 1979. – 29 (1-2). – P.75–94.

Klimchouk A. Le grotte del massiccio di Arabika // La Rivista del CAI. – 1991. – 112(1). – P. 37-47.

Klimchouk A.B. & Jablokova N.L. Evidence of hydrological significance of epikarstic zone from study of oxygen isotope composition of water, Arabika massif, Western Caucasus // Proc. of the 10 Int. Congress of Speleology. – Vol.Ш. – Budapest, 1990. –P. 800-801.

Mocochain L., Clauzon G., Bigot J.-Y & Brunet Ph. Geodynamic evolution of the peri-Mediterranean karst during the Messinian and the Pliocene: evidence from the Ardèche and Rhône Valley systems canyons, Southern France // Sedimentary Geology. – 2006. – 188-189. –P. 219-233.

Popescu S.-M. Late Miocene and early Pliocene environments in the southwestern Black Sea region from high-resolution palynology of DSDP Site 380A (Leg 42B) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2006. – Vol. 238. – P.64–77.

Semenenko V.N. & Olejnik E.S. Stratigraphic correlation of the Eastern Paratethys Kimmerian and Dacian stages by molluscs, dinocyst and nannoplankton data // Rom. J. Stratigr. – 1995. – 76 (7). – P.113–114.

Smith W.H.F. & Sandwell D.T. Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings // Science. – 1997. – 277. – P.1956-1962.

Snel E., Mărunțeanu M., Macaleț R., Meulenkamp J.E., Van Vugt N. Late Miocene to early Pliocene chronostratigraphic framework for the Dacic Basin, Romania // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. – 2006. – 238. – P.107–124.