



А.Б.Климчук, Г.В. Самохин, Х.Чен, Л.Эдвардс

Датирование натечных отложений из глубоких частей глубочайшей пещеры мира – Крубера (массив Арабика, Западный Кавказ)

Klimchouk A.B., Samokhin G.V., Chen H. & Edwards R.L. Dating of speleothems from deep parts of the world's deepest cave – Krubera (Arabika Massif, Western Caucasus) // Speleology and Karstology, - Vol. 1. – Simferopol. – 2008. – P.105-108.

Климчук О.Б., Самохин Г.В., Чен Х., Эдвардс Р.Л. Датировання натічних відкладів з глибоких частин найглибшої печери світу – Крубера (масив Арабіка, Західний Кавказ) // Спелеологія і карстологія, - № 1. – Сімферополь. – 2008. С. 105-108.

Резюме: Приведены результаты датирования по ^{230}Th натечных отложений из пещер Крубера (глубочайшая пещера мира; -2191 м) и Куйбышевская на массиве Арабика (Западный Кавказ). Большинство возрастных определений (9) сделаны по образцам из глубоких частей пещеры Крубера, в интервале глубин 1630-2010 м (абсолютные отметки 629-246 м в.у.м.), что особенно важно для выявления эволюции карстовых систем района в связи с изменениями базиса дренирования (уровня Черного моря). Полученные даты распределены по каждой из зон от 1 до 7 морской изотопной шкалы и попадают как на известные по Восточным Альпам периоды интенсивного отложения натечков (голоцен, 50-60 тыс. лет, 67-80 тыс. лет, 190-240 тыс. лет, 250-280 тыс. лет), так и на периоды отсутствия датировок по натечным отложениям (160-165 тыс. лет; морская стадия 6). Полученные даты отвечают как межгляциальным периодам, так и периодам оледенений. Наличие двух дат древнее 200 тыс. лет для натечков 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. Также получены два результата по образцам из фоссильных галерей на отметках 2016-1906 м н.у.м., выходящие за пределы диапазона метода, т.е. указывающие на возраст древнее 500000 лет. Результаты датирования согласуются с гипотезой о том, что заложение карстовой системы, частью которой является пещера Крубера, связано с позднемиоценовым периодом крайне низкого положения уровня моря, а ее преимущественно вертикальное развитие – с активными воздыманиями массива Арабика в плиоцен-четвертичное время, дифференцированными по блокам-зонам субкавказского простирания. Ключевые слова: датирование по ^{230}Th ; датирование натечных отложений; глубокие пещеры; Мессинский кризис; пещера Крубера; Черное море; Арабика; Западный Кавказ.

Резюме: Наведені результати датування по ^{230}Th натічних відкладів із пещер Крубера (найглибша печера світу; -2191 м) і Куйбушевська на масиві Арабіка (Західний Кавказ). Більшість вікових визначень (9) зроблені по зразках із глибоких частин печери Крубера, відібраних в інтервалі глибин 1630-2010 м (абсолютні відмітки 629-246 м в.у.м.), що особливо важливо для виявлення еволюції карстових систем району у зв'язку зі змінами базису дренажування (рівня Чорного моря). Отримані дати розподілені по кожній із зон від 1 до 7 морської ізотопної шкали й впадають як на відомі по Східних Альпах періоди інтенсивного накопичення натічних відкладів (голоцен, 50-60 тис. років, 67-80 тис. років, 190-240 тис. років, 250-280 тис. років), так і на періоди відсутності датувань по натічним відкладам (160-165 тис. років; морська стадія 6). Отримані дати відповідають як міжгляциальним періодам, так і періодам зледеніння. Наявність двох дат давніших за 200 тис. років для зразків із глибоких частин печери (макс. 276 тис. років) вказує на те, що ці ділянки вже були сформовані й перебували в умови вадозної зони до (очевидно, значно раніше) середньоплейстоценового часу. Також отримано два результати по зразках з викопних галерей на відмітках 2016-1906 м в.у.м., що виходять за межі діапазону методу, тобто, вказують на вік давніший за 500000 років. Результати датування узгоджуються з гіпотезою про те, що закладення карстової системи, частиною якої є печера Крубера, пов'язане з пізньоміоценовим періодом край низького положення рівня моря, а переважно вертикальний розвиток печери - з активними здійманнями масиву Арабіка в пліоцен- четвертинний час, диференційованими по блоках- зонах субкавказського простягання. Ключові слова: датування по ^{230}Th ; датування натічних відкладів; глибокі печери; Месинська криза; печера Крубера; Чорне море; Арабіка; Західний Кавказ.

Abstract: Results of ^{230}Th (TIMS) dating of speleothems from the caves Krubera (the deepest cave in the world; -2191 m) and Kujbushevskaja in the Arabika Massif, Western Caucasus, are given in the paper. Most of dates are from samples taken from the deep part of Krubera Cave, between depths of 1630-2010 m (elevations of 629-246 m a.s.l.), which is important for elucidating evolution of karst systems in the area and its relation to changes of the base level (the Black Sea level). Obtained dates scatter through each of 1 to 7 zones of the marine isotopic scale and hit the know from the Eastern Alps periods of intense speleothems deposition (Holocene, 50-60 Ky, 67-80 Ky, 190-240 Ky, 250-280 Ky), as well as the periods of absence of dates (160-165 Ka; marine stage 6). The dates correspond to both, interglacial and glacial periods. The presence of two dates older than 200 Ky (max 276 Ky) from deep sites points to the fact that

these deep parts of Krubera Cave already existed within the vadose zone before (and likely – much before) Middle Pleistocene. Also, two samples from fossil passages located at elevations of 2016–1906 m a.s.l. are dated beyond the dating limits (>500,000 Ky). The results are consistent with a hypothesis that the early development of the karst system, which Krubera Cave is part of, is linked with the Late Miocene (Messinian) periods of an extremely low position of the sea level. The expressively vertical development of Krubera Cave is determined by intense uplift of the Arabika Massif in Pliocene-Pleistocene time, differentiated by blocks of the sub-Caucasian strike. Key words: ²³⁰Th dating; TIMS; speleothems dating; Messinian Crisis; deep caves; Krubera Cave; Black Sea; Arabika; Western Caucasus.

Пещера Крубера на массиве Арабика (Западный Кавказ) является глубочайшей пещерой планеты (достигнутая в 2007 году максимальная глубина – 2191 м). Ее исследование дает ценные данные к уточнению тектонической и палеогеографической истории региона. Характеристика природных условий района дана в ряде работ (Кикнадзе, 1972; 1979; Климчук, 1990; Климчук, Самохин, Касьян, 2008 – в этом выпуске). Пещера Крубера образует единую систему, хотя пока не соединенную непосредственным прохождением, с пещерной системой Арабикской (шахты Куйбышевская - Генрихова Бездна) (рис. 1).

Пещера Крубера развита субвертикально на всю мощность вадозной зоны до низов карбонатного комплекса, который от центральной части массива погружается, в целом моноклиinally, хотя со складчато-блоковыми осложнениями, на юго-запад к побережью. В плане пещера не продвинулась существенно в сторону прибрежных очагов разгрузки. Огромная мощность вадозной зоны (около 2150 м по пещере Крубера и более) обусловлена низким положением верхней границы фреатической зоны под центральной частью массива (около 110 м н.у.м. в межень), удаленной на 13–16 км от прибрежных и субмаринных очагов разгрузки.

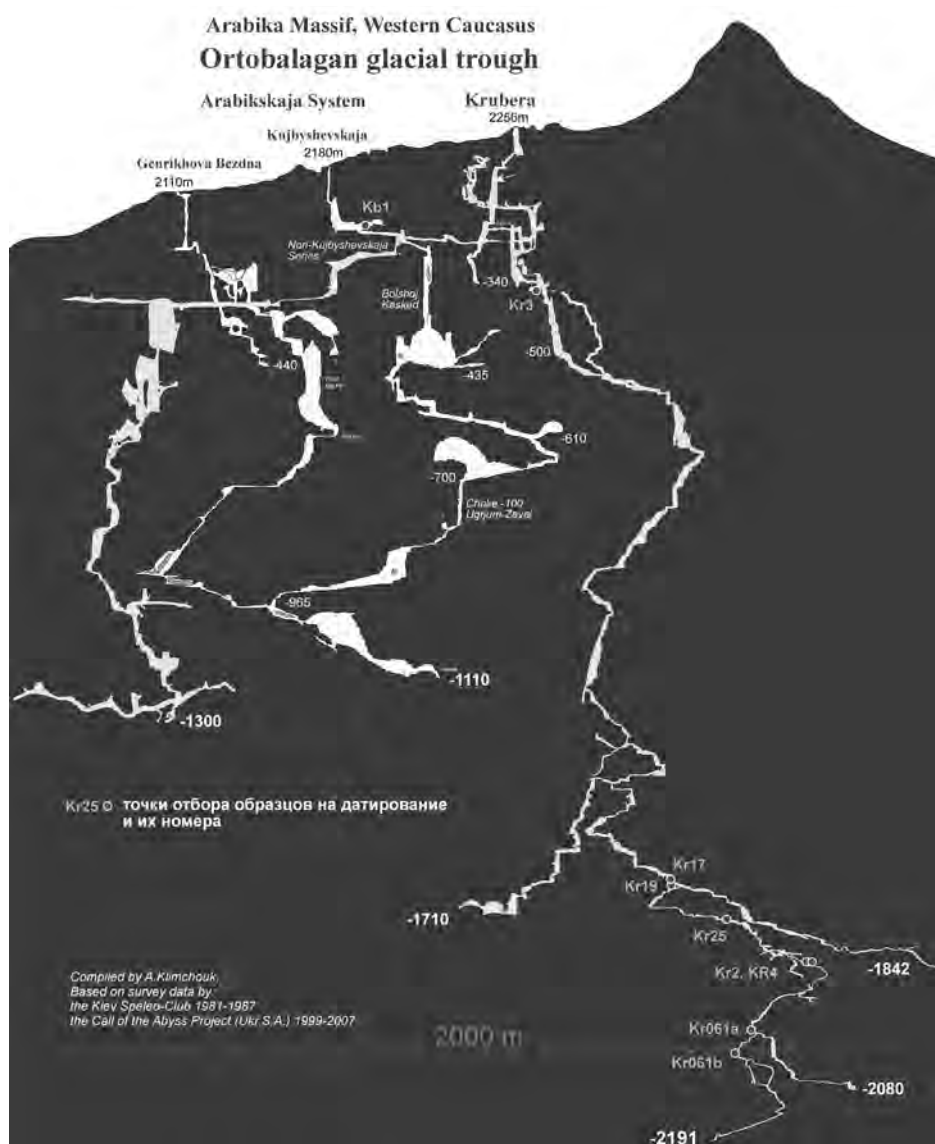


Рис. 1. Комбинированные профили крупных пещер ледниковой долины Ортобалаган на массиве Арабика: системы Арабикской (шахты Куйбышевская и Генрихова Бездна) и шахты Крубера. Точки отбора образцов на датирование показаны кружками. Номера соответствуют Таблице 1.

Fig. 1. Combined profiles of large caves of the Ortobalagan glacial valley in Arabika Massif: Arabikskaya System and Krubera Cave. Sampling sites are indicated by circles. Numbers correspond to Table 1.

Таблица 1

Результаты ^{230}Th датирования (TIMS) натечных отложений из пещер Крубера (Kr) и Куйбышевской (Kb), массив Арабика, Западный Кавказ.

Table 1

Results of ^{230}Th dating (TIMS) of speleothems from Krubera (Kr) and Kujbyshevskaja (Kb) caves, Arabika Massif, Western Caucasus.

Образец	Глубина по от вош. ко входу	Абс. отметка	^{238}U	^{232}Th	$^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th}$	$\delta^{234}\text{U}^*$	$^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$	^{230}Th Age (yr)	^{230}Th Age (yr)	$\delta^{234}\text{U}_{\text{initial}}^{**}$	^{230}Th Age (лет BP) ^{***}
Индекс	м	м н.у.м.	(ppb)	(ppt)	(атомн. $\times 10^{-6}$)	(измеренная)	(активность)	(исправл.)	(исправл.)	(исправл.)	(исправл.)
Kr3	350	1906									>500000
Kb1	160	2016									>500000
Kr17	1630	629	1568 ±4	5738 ±59	974 ±11	-65,5 ±2,7	0,21644 ±0,00085	28796 ±164	28681 ±183	-71,1 ±3,0	28625 ±183
Kr19	1640	639	1489 ±4	119786 ±1209	248 ±3	336,7 ±3,7	1,21156 ±0,00456	209382 ±2788	207915 ±2938	606,0 ±8,3	207859 ±2938
Kr25	1720	536	2315 ±6	483 ±21	76238 ±3270	681,9 ±4,2	0,96466 ±0,00338	86520 ±545	86516 ±545	870,8 ±5,5	86460 ±545
Kr2	1820	436	3701 ±13	4180 ±50	14250 ±170	46,0 ±1,9	0,9756 ±0,0056	276304 ±7610	276273 ±7608	100 ±5	276000 ±7600
Kr4	1820	436	5690 ±40	4660 ±50	290 ±3	0,5 ±3,2	0,0145 ±0,0001	1587 ±14	1563 ±22	1 ±3	1506 ±22
Kr061a-1	1960	296	6862 ±24	1228 ±19	76280 ±1215	63,8 ±3,2	0,82869 ±0,00389	160031 ±2109	160027 ±2109	100,4 ±5,1	159971 ±2109
Kr061a-2	1960	296	7048 ±25	3201 ±34	30217 ±334	59,7 ±2,9	0,83303 ±0,00372	163623 ±2065	163611 ±2064	94,8 ±4,7	163555 ±2064
Kr061b-1	2010	246	1386 ±3	1248 ±18	10035 ±147	398,8 ±3,2	0,54893 ±0,00184	52880 ±275	52862 ±275	463,1 ±3,8	52806 ±275
Kr061b-2	2010	246	1234 ±3	2195 ±25	6493 ±76	341,4 ±3,6	0,70140 ±0,00246	77593 ±494	77557 ±494	425,1 ±4,5	77501 ±494

$\lambda_{230} = 9.1577 \times 10^{-6} \text{ г}^{-1}$, $\lambda_{234} = 2.8263 \times 10^{-4} \text{ г}^{-1}$, $\lambda_{238} = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ г}^{-1}$.

* $\delta^{234}\text{U} = \left(\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}} \right)_{\text{активн}} - 1 \times 1000$. ** $\delta^{234}\text{U}_{\text{начальн}}$ рассчитана по ^{230}Th возрасту (T), т.е., $\delta^{234}\text{U}_{\text{начальн}} = \delta^{234}\text{U}_{\text{измерен}} \times e^{234\lambda T}$.

Исправленные ^{230}Th возрасты предполагают начальное $^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th}$ атомное соотношение of $4.4 \pm 2.2 \times 10^{-6}$. Это значение для материала в долговременном равновесии, при среднем планетарном значении $^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$ 3.8. Ошибка принята на уровне 50%.

***В.Р. означает "Before Present" ("до настоящего времени"), где "настоящее время" определяется как 1950 год.

Гидравлический градиент на участке от пещеры до установленных трассированием очагов разгрузки на побережье и в море составляет 0,007-0,008 – крайне низкие значения для горноскладчатых условий. Это указывает на высокую каналовую проницаемость (низкое гидравлическое сопротивление) в нынешней фреатической зоне на всем протяжении от пещеры до источников на побережье.

Недавно высказано предположение о том, что заложение карстовой системы, частью которой является пещера Крубера, связано с позднемиоценовым периодом крайне низкого положения уровня моря, а ее преимущественно вертикальное развитие – с активными воздыманиями массива Арабика в плиоцен-четвертичное время, дифференцированными по блокам-зонам субкавказского простириания (Климчук, 2006; Климчук, Самохин, Касьян, 2008 – в этом выпуске). Наличие карстовых каналов позднемиоценового заложения на низких отметках в прибрежных блоках максимизировало гидравлический градиент в более удаленных интенсивно воздымаемых блоках в центральной части массива в течение постмиоценовой истории развития карстовой системы, что обуславливало преимущественно вертикальное развитие полости в этой части.

Вместе с тем, в пещерах Крубера и соседней пещерной системе Арабикской имеются фоссильные субгоризонтальные галереи на разных уровнях, вскрытые вадозными шахтами и меандрами. Эти галереи, предположительно, являются древними фреатическими фрагментами пещерной системы, фиксирующими периоды стабилизации в воздымании центральных блоков массива.

Разрабатываемая эволюционная модель для пещеры Крубера предполагает, что ее развитие

контролировалось не нынешним положением уровня Черного моря, а значительно более низкими положениями базиса дренирования в прошлом. Нижние участки пещеры Крубера подтоплены на значительную высоту нынешним положением уровня подземных вод. Это, в свою очередь, предполагает значительный возраст даже самых глубоких доступных участков пещеры.

Изложенные предположения подтверждаются результатами абсолютного датирования натечных отложений пещер Крубера и Куйбышевской.

Образцы для датирования были отобраны в экспедициях 2006 и 2007 гг. как в нижних частях пещеры Крубера на отметках 629-246 м н.у.м., так и в фоссильных галереях на отметках 2016-1906 м н.у.м. в пещерах Крубера и Куйбышевской. Датировки по ^{230}Th выполнены методом термоионизационной масс-спектрометрии (TIMS; Edwards et al., 1987; Dorale et al., 2004) в лаборатории университета Миннесоты (Х.Чен, Л.Эдвардс). Предел возрастных определений натечков этим методом в настоящее время составляет 500 тыс. лет и более.

По первой группе образцов получены 9 датировок в диапазоне возрастов от 1,5 тыс. лет (± 22 года) до 276 тыс. лет ($\pm 7,6$ тыс.лет) (Таблица 1). Какая-либо корреляция дат с глубиной от поверхности отсутствует. Интересно, что самый молодой и самый древний натечки находятся рядом на глубине 1820 м (отметка 436 м н.у.м.).

Полученные даты распределены по каждой из зон от 1 до 7 морской изотопной шкалы (рис. 2) и попадают как на известные по Восточным Альпам периоды интенсивного отложения натечков (голоцен, 50-60 тыс. лет, 67-80 тыс. лет, 190-240 тыс. лет, 250-280

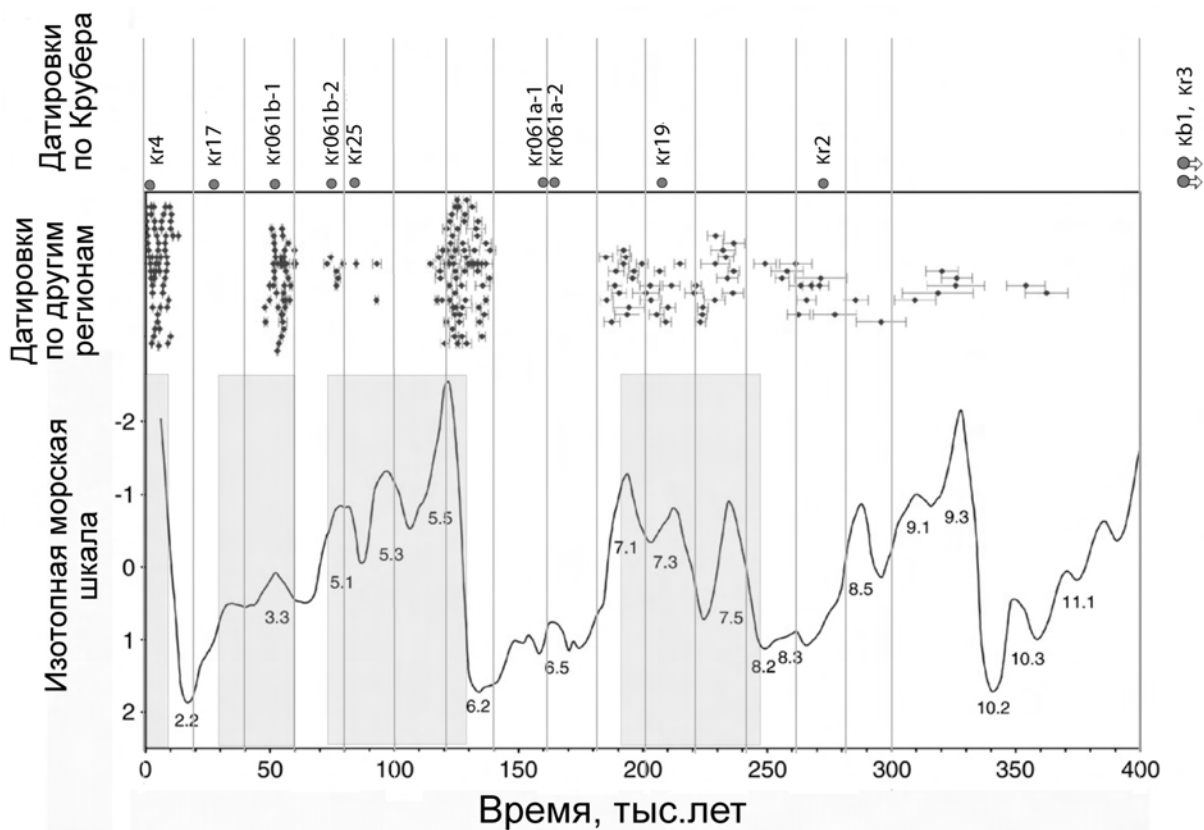


Рис. 2. Положение возрастов натечных отложений пещер Крубера и Куйбышевской на морской изотопной шкале гляциальных-межгляциальных климатических изменений (по бентосу, Bassinot et al., 1994) и в сопоставлении с распределением 250 датировок по U-Th натеков из Восточных Альп (Spötl & Mangini, 2007).
 Fig. 2. Speleothem dates from Krubera and Kujbyshevskaja caves, with reference to the stacked benthic O isotope record Bassinot et al., 1994) and the distribution of 250 U-Th dates from speleothems from the Eastern Alps (Spötl & Mangini, 2007).

тыс. лет), так и на периоды отсутствия датировок по натечным отложениям (160-165 тыс. лет). Полученные даты отвечают как межгляциальным периодам, так и периодам оледенений. Последнее согласуется с выводом недавнего обобщения результатов датирования натеков в альпийских карстовых районах о том, что образование натеков не обязательно прекращается во время оледенений, если ледники относятся к типу ледников с теплым основанием (Spötl & Mangini, 2007). 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) среднелейстоценового времени.

Вторая группа образцов представлена натекми, отобранными из фоссильных галерей на глубинах около 160 м в пещере Куйбышевской (Kb1) и около 350 м в пещере Крубера (Kr3). Обе датировки показали возраст древнее 500 тыс. лет (по-видимому, намного древнее).

ЛИТЕРАТУРА

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., Самохин Г.Н. Касьян Ю.М. Глубочайшая пещера Мира на массиве Арабика (Западный Кавказ) и ее гидрогеологическое и палеогеографическое значение // Спелеология и карстология. – 2008. – №1. – С.100-104 (в этом выпуске).
 Edwards R.L., Chen J.H. & Wasserburg G.J. 238U-234U-230Th-232Th systematics and the precise measurement of time over the past 500000 y // Earth Planet. Sci. Lett. – 1987. – 81. – P. 175.
 Dorale J.A., Edwards R.L., Alexander E.C., Shen C.-C., Richards D.A. and Cheng H. Uranium-series dating of speleothems: current techniques, limits, and applications // I.Sasowsky & J.Mylroie (Eds), Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate. New York: Kluwer Academic, 2004. – P. 177-197.
 F.C. Bassinot, L.D. Labeyrie, E. Vincent, X. Quidelleur, N.J. Shackleton, Y. Lancelot, The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal, Earth Planet. Sci. Lett. 126 (1994) 91–108
 Spötl C. & Mangini A. Speleothems and paleoglaciers // Earth and Planetary Science Letters. – 2007. – 254 (3). – P. 323-331.