



К.М. Бондарь, Б.Т. Ридуш

## Запись палеоклиматических изменений голоцена - верхнего плейстоцена в рыхлых отложениях пещеры Эмине-Баир-Хосар по магнитным данным

Бондарь К.М., Ридуш Б.Т. Запись палеоклиматических изменений голоцена - верхнего плейстоцена в рыхлых отложениях пещеры Эмине-Баир-Хосар по магнитным данным // Спелеология и карстология, - № 2. - Симферополь. - 2009. - С. 70-76.

**Резюме:** Изучены магнитные характеристики и палеомагнитная запись в разрезе горизонтально-слоистых рыхлых суглинистых отложений привходовой части пещеры Эмине-Баир-Хосар. Комплексный анализ магнитных, палеомагнитных, палеонтологических и радиоуглеродных данных позволил восстановить динамику палеоклиматических изменений на плато Чатырдаг и его окрестностях в голоцене - верхнем плейстоцене. **Ключевые слова:** пещера Эмине-Баир-Хосар; магнитные свойства; палеомагнитные исследования; голоцен.

Бондар К.М., Ридуш Б.Т. Запис палеокліматичних змін у голоцені-верхньому плейстоцені у рихлих відкладах печери Еміне-Баїр-Хосар за магнітними даними // Спелеологія і карстологія, - № 2. - Сімферополь. - 2009. - С. 70-76.

**Резюме:** Досліджені магнітні характеристики і палеомагнітний запис у розрізі горизонтально-шаруватих рихлих суглинистих відкладів привхідної частини печери Еміне-Баїр-Хосар. Комплексний аналіз магнітних, палеомагнітних, палеонтологічних і радіоуглецевих даних дозволив відновити динаміку палеокліматичних змін на плато Чатырдаг та його околиці у голоцені-верхньому плейстоцені. **Ключові слова:** печера Еміне-Баїр-Хосар; рихлі відклади, магнітні властивості; палеомагнітні дослідження; голоцен.

Bondar K.M., Ridush B.T. Record of paleoclimatic changes during Holocene - Upper Pleistocene in non-cemented sediments from Emine-Bair-Khosar cave by magnetic measurements // Speleology and Karstology. - N 2. - Simferopol. - 2009. - P. 70-76.

**Abstract:** Magnetic properties and a paleomagnetic record are investigated along a section of horizontally-layered non-cemented loamy sediments from the near-entrance part of the Emine-Bair-Khosar Cave. The dynamics of paleoclimatic changes in the Chatyrdag Plateau and the surrounding area during Holocene - Upper Pleistocene is reconstructed from complex interpretation of magnetic, palaeomagnetic, palaeontological and radiocarbon data. **Key words:** Emine-Bair-Khosar Cave; non-cemented sediments, magnetic properties; paleomagnetic investigation; Holocene.

### ВВЕДЕНИЕ

Петромагнитные и палеомагнитные исследования отложений приповерхностных частей пещер позволяют получить сведения о палеоклиматической ситуации в регионе и оценить возраст изучаемых формаций.

Ранее подобные исследования проводились российскими учеными в Ахштырской пещере (Северо-Восточное Причерноморье), пещере Матузка (Северный Кавказ) (Поспелова и др., 2001, 2004, 2006), пещере Загадай (Западное Прибайкалье) (Нургалиев и др., 2006) и др.

Исследователи (Поспелова и др., 2001, 2006) отмечают, что в пещерных отложениях следует ожидать более надежной записи древнего магнитного поля, так как климатические условия внутри пещеры относительно стабильны, а следовательно низка вероятность наложения вторичной намагниченности. Кроме того, золотой способ формирования рыхлой толщи в привходовой части пещеры позволяет надеяться на непрерывную палеомагнитную и палеоклиматическую запись по сравнению с лессово-почвенными разрезами, где почвенные слои образуются в результате переработки материнского лесса (Большаков, 2004).

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пещера Эмине-Баир-Хосар, расположенная на северном краю нижнего плато Чатырдага, имеет общую длину 1460 м и глубину 125 м (Vremir, Ridush, 2005; Ридуш, Времір, 2008).

© К.М. Бондарь<sup>1\*</sup>, Б.Т. Ридуш<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

<sup>2</sup> Черновицкий национальный университет имени Ю. Федьковича, Черновцы

\* Корреспондующий автор. E-mail: tyamina@univ.kiev.ua

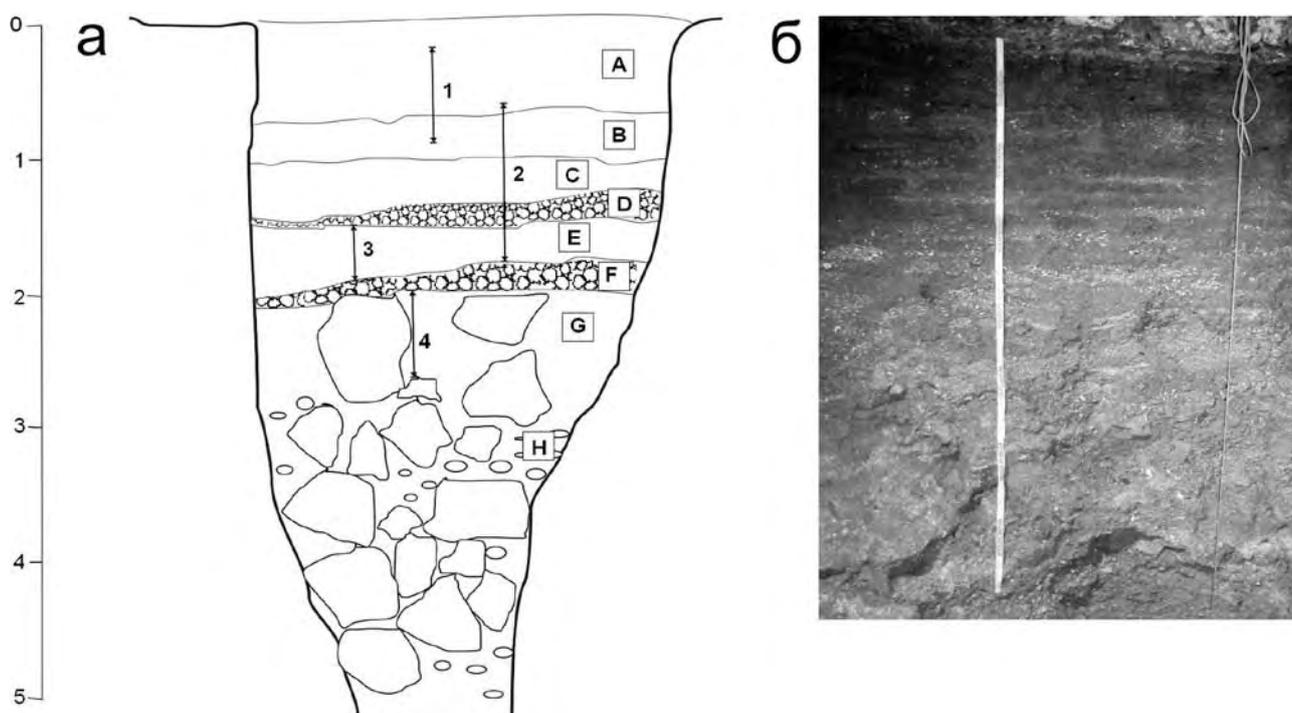


Рис. 1. (а) = схема разреза с указанием литологических слоев и расчисток отбора проб, (б) = фотография верхней части разреза.

Fig. 1. (a) = scheme of the section (a) with indication of lithologic layers and sampling subsections, (б) = photograph of the upper part of section.

Объектом нашего исследования послужил разрез рыхлых отложений (рис. 1), интенсивно насыщенных палеонтологическим материалом (Рідуш, Проскурняк, 2008), вскрытый в «Музейном» зале пещеры на глубине 28 м от устья естественной входной воронки. Разрез представлен эоловым переотложенным лессово-почвенным материалом, насыщенным известняковой дресвой. В отложениях прослеживается горизонтальная слоистость (рис. 1б), что дало основание исследовать палеомагнитную запись разреза по аналогии с лессово-почвенными формациями. Общая мощность изученных отложений составила 2,6 м. Нулевой уровень соответствует кровле бетонной плиты, которой закрыт разрез. Попадающиеся в разрезе крупные глыбы известняка не позволили взять все слои в одной расчистке. Их пришлось сделать четыре, причем мощность отдельных слоев в них несколько различалась. В результате мощность сводного разреза составила 215 см. Нижележащие слои представлены грубообломочным материалом и непригодны для палеомагнитных исследований.

При палеонтологических исследованиях в указанном диапазоне (0-215 см) встречены кости: млекопитающих: сайги (*Saiga tatarica/borealis*), оленя благородного (*Cervus elaphus* L.), зайца (*Lepus* sp.), лисы (*Vulpes vulpes* L.), человека (*Homo sapiens*), а в нижней части описываемого разреза (-240 см) – гигантского оленя (*Megaceros* sp.); птиц: преимущественно галка альпийская (*Pyrrhocorax graculus*) и голубь сизый (*Columba livia*), а также соколы (*Falco* cf. *subbuteo*, *Falco vespertinus*). Для костей сайги с глубины 2,0 м получена радиоуглеродная ( $^{14}\text{C}$ ) дата 10490 $\pm$ 170 лет (Ki-13063).

### Морфология разреза

Верхняя часть разреза, вскрытая расчистками 1 и 2, складывается из следующих слоев. Слой А (0-0,75 м) – темно-серый, рыхлый, бесструктурный, влажный, легко-суглинистого механического состава, содержащий в основном почвенный материал, слой В (0,75-1м) – толща, состоящая из восьми пачек глинистый + щелнистый прослой, буро-коричневого цвета, размер известняковой дресвы в щелнистых прослоях возрастает от 1-2 мм в верхней части слоя до 1 см внизу. Слой С (1-1,3 м) палевый светлый, однородный, глинистый, с небольшим содержанием обломочного материала. В разрезе также фиксируются два щелнистых слоя - D (1,3-1,5 м) и F (1,8-2 м) - представляющих собой хаотическое скопление остроугольных обломков известняка диаметром до 5 см. Слой Е (1,5-1,8 см) по морфологическим характеристикам сходен со слоем С, вскрыт расчистками 2 и 3. Слой G (2-2,6 м), вскрытый расчисткой 4, сформирован серовато-бурыми влажными глинами с тонкими щелнистыми прослойками. Нижележащая толща (2,6-5 м) представляет собой нагромождение камней и крупных обломков известняка вперемешку с глиной.

### МЕТОДИКА ПЕТРОМАГНИТНЫХ И ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор ориентированных образцов производился ручным способом с использованием горного компаса. Шаг отбора по вертикали 3 см по 2-3 образца с каждого уровня. Отобрать монолитные образцы из щелнистых слоев D и F оказалось невозможным. Вся коллекция составила 196 ориентированных образцов, которые хранились по магнитному полю перед измерениями.

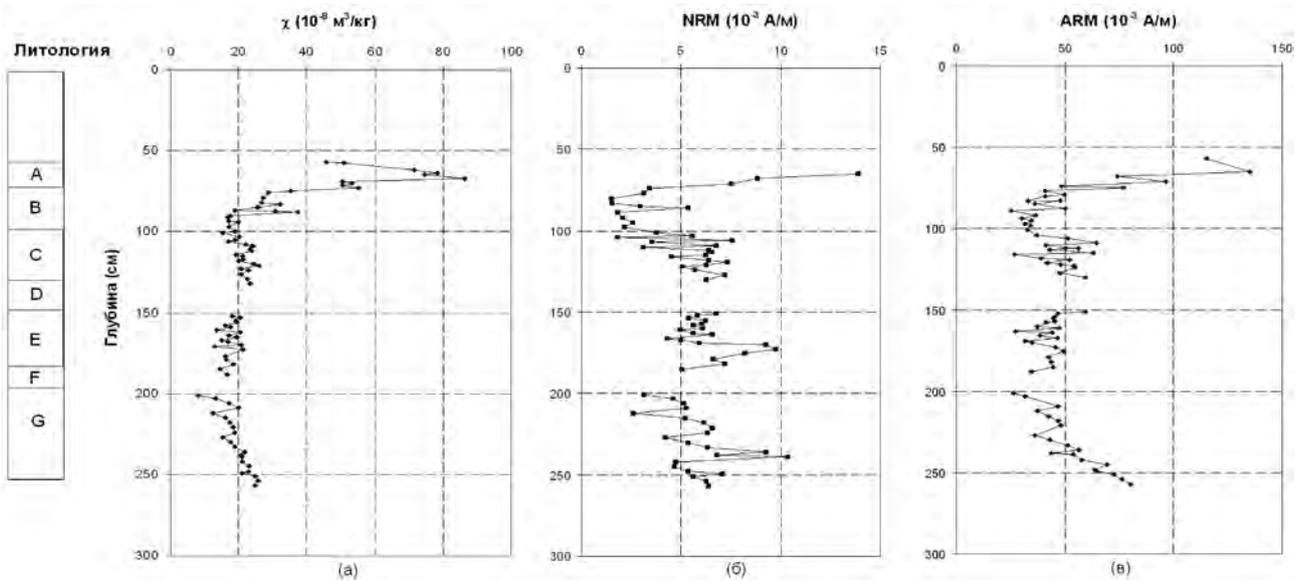


Рис. 2. Магнитная восприимчивость  $\chi$  (а), естественная остаточная намагниченность NRM (б), идеальная намагниченность ARM (в) отложений разреза.

Fig. 2. Magnetic susceptibility  $\chi$  (a), natural remanence NRM (б), anhysteretic remanence ARM (в) of sediments.

В лабораторных условиях изучены следующие петромагнитные характеристики. Магнитная восприимчивость ( $k$ ) измерялась на каппабридже KLY-2 (Geofizyka, Чехия), а также на приборе Bartington MS2 с датчиком MS2B Dual Frequency Sensor (Великобритания), который позволяет измерять магнитную восприимчивость на двух частотах. Частотная зависимость магнитной восприимчивости рассчитывается по следующей формуле:

$$\chi_{fd} = (k_{if} - k_{hf}) / k_{if} * 100\%,$$

где  $k_{if}$  и  $k_{hf}$  – значения на частотах 470 и 4700 Гц.

Магнитная восприимчивость традиционно используется для расчленения лессово-почвенных формаций. Присутствие почвенного материала сопряжено с повышенным содержанием суперпарамагнетиков в отложениях (Deearing, 1999), а значит должно выражаться в  $\chi_{fd}$ . Также вдоль разреза изучена естественная остаточная намагниченность (NRM) и идеальная намагниченность (ARM), созданная в переменном поле 100 мТ при постоянном поле 0,5 мТ. Измерения выполнены на криогенном магнитометре 2G Enterprises.

Рассчитано соотношение Кенигсбергера (Q), характеризующее относительную магнитную жесткость отложений, а также отношение ARM/k, зависящее от размеров магнитных зерен в породе (Evans, Heller, 2003).

Магнитная минералогия разреза определялась на основе термомагнитного анализа по намагниченности насыщения  $M_s(T)$  до температуры 700°C в процессе нагрева-охлаждения в магнитном поле 100 мТ. По кривым второй производной определены точки Кюри магнитных минералов.

Параметры магнитного гистерезиса – намагниченность насыщения ( $M_s$ ), остаточная намагниченность насыщения ( $M_{rs}$ ), коэрцитивная сила ( $H_c$ ) и разрушающее поле ( $H_{cr}$ ) – и построенная на их основе диаграмма Дея, позволили судить о доменном состоянии носителей намагниченности.

По результатам ступенчатого размагничивания NRM пилотных образцов переменным магнитным полем построены диаграммы Зийдервельда, на основе которых определены шаги размагничивания образцов основной коллекции. Изменения направления стабильной компоненты намагниченности представлены в виде кривых её склонения (D) и наклонения (I) вдоль разреза. В качестве пилотных взято по 2 образца из каждого выделенного слоя. Так как для каждого образца выполнены 3-4 шага размагничивания, стало возможным оценить медианное разрушающее поле (MDF) вдоль разреза, несущее дополнительную информацию о магнитной жесткости пород.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

По изменениям магнитных свойств, зависящих преимущественно от концентрации зерен магнитных минералов ( $\chi$ , ARM), разрез разделяется на участки, которые не всегда совпадают с литологическими слоями (рис. 2).

Наивысшие значения этих параметров отмечаются в слое А. Также возрастанием  $\chi$ , NRM, ARM характеризуется слой С и нижняя часть слоя G. Понижение магнитных свойств наблюдается в слоях В, Е и верхней части слоя G. На кривой NRM видны пики в нижней части слоя Е и в слое G, которые могут свидетельствовать об изменении магнитной минералогии либо размера зерен-носителей намагниченности.

В целом магнитные свойства пород разреза тем выше, чем больше они содержат гумусированного материала и меньше в слоях с содержанием известняковой дресвы.

Для определения магнитной минералогии разреза изучалось поведение намагниченности насыщения в процессе нагрева-остывания в воздухе (метод  $M_s(T)$ ). При этом материал пробы приобретал рыжий оттенок, т.е. мы старались избежать образования

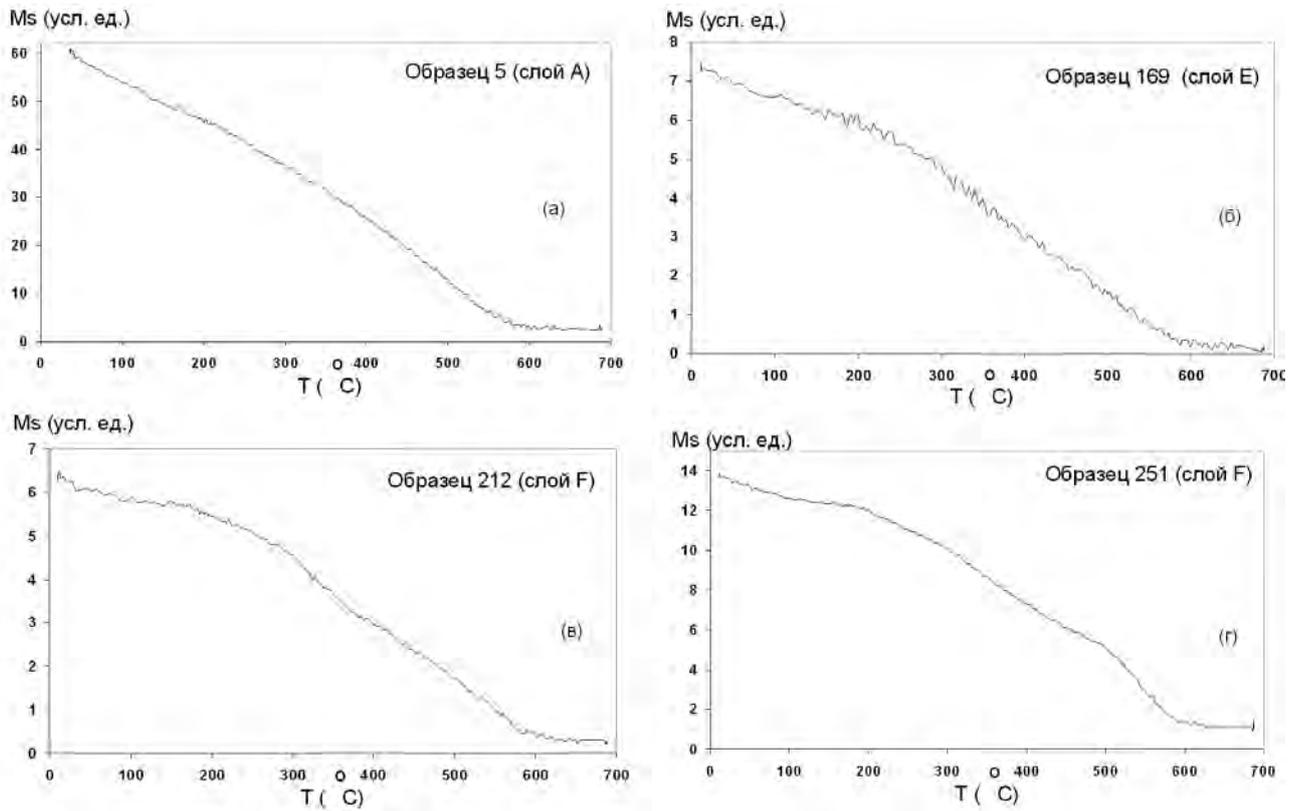


Рис. 3. Термомагнитные кривые Ms (T) образцов разреза.  
Fig. 3. Thermomagnetic curves Ms (T) of samples.

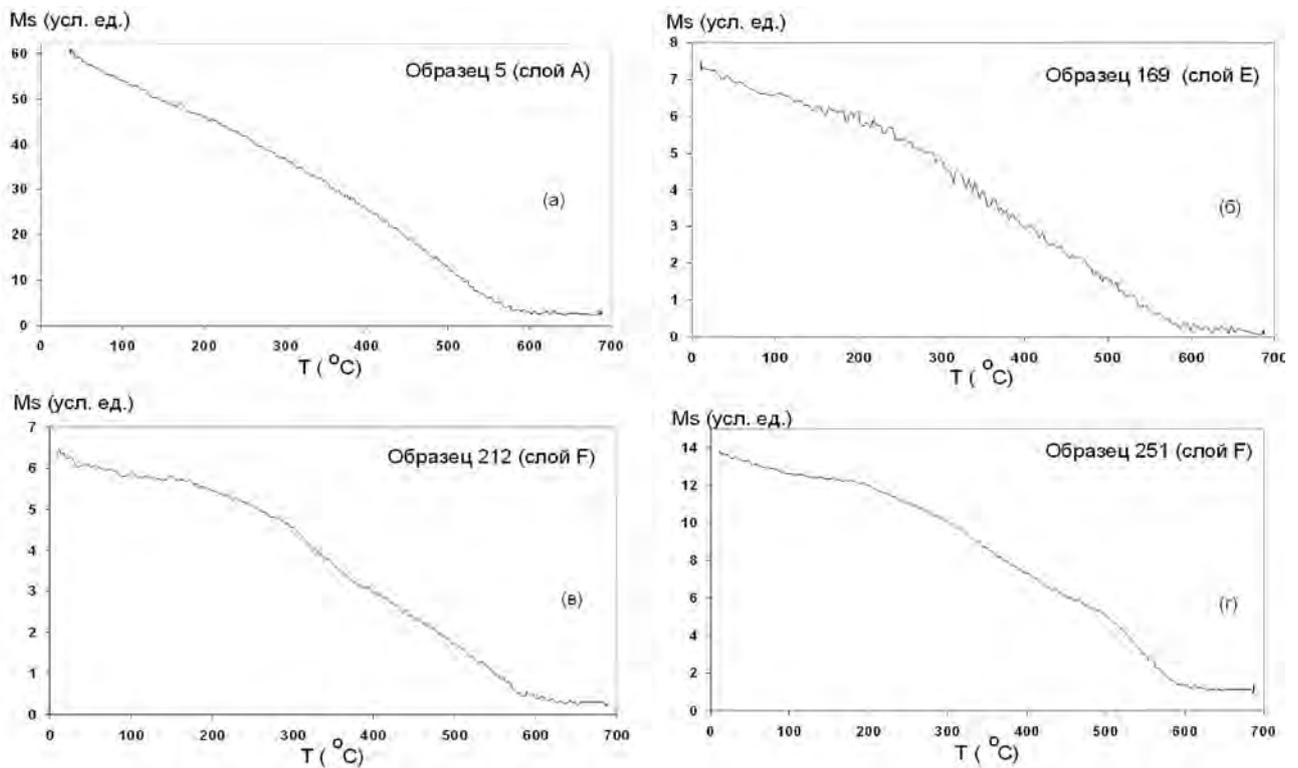


Рис. 4. Частотная зависимость магнитной восприимчивости  $k_{id}$  (а), фактор Кенигсбергера Q (б), отношение ARM/k (в) отложений разреза.  
Fig. 4. Frequency dependence of magnetic susceptibility  $k_{id}$  (а), Keonigsberger ration Q (б), ratio ARM/k (в) of sediments.

магнетита из глинистых минералов и первичных магнетиков в процессе измерительного нагрева. Для всех горизонтов отмечены точки Кюри в диапазоне 571...579°C, что позволяет предположить, что доминирующим минералом является магнетит (рис.3).

$K_{fd}$  (рис. 4а) достигает 10...12% в гумусированном слое А, который, следовательно, характеризуется высоким содержанием суперпарамагнитной фракции. С глубиной  $K_{fd}$  и содержание суперпарамагнетиков падает, небольшие повышения наблюдаются в слое С и нижней части слоя G – наиболее магнитных горизонтах разреза.

В этих же горизонтах – А, С, G – а также в нижней части слоя Е, наблюдаются пики на кривой ARM/k, и кривой Q (рис. 4 б, в). Следовательно, в магнитных слоях разреза и в нижней части слоя Е содержится относительно много мелких магнитных зерен. Для слоев А, С и G это можно объяснить наличием почвенного материала, а в слое Е причина, вероятно, другая.

Для оценки доменного состояния носителей намагниченности на модифицированную диаграмму Дея, (Dunlop, 2002) мы вынесли 6 образцов разреза (рис. 5). Все они попали в псевдооднодоменную область, что типично для лессово-почвенного материала, слагающего разрез.

Чтобы выяснить компонентный состав NRM, мы проводили ступенчатое размагничивание образцов пилотной коллекции переменным полем в интервале 2,5...60 мТл. Примеры типичных диаграмм Зийдервельда, представляющих ортогональные проекции вертикальной и горизонтальной компонент намагниченности, приведены на рис. 6а. На рис. 6б представлены зависимости интенсивности NRM от размагничивающего поля. Образцы из верхняя часть разреза (до 100 см), включающей слои А и В, показали хаотическую смену направлений NRM в процессе размагничивания и были исключены из дальнейшего анализа. Их NRM оказалась в среднем на 80% вязкой, MDF не превышало 10 мТл.

На основе компонентного анализа для остальной коллекции было выбрано поле чистки 20 мТл, после чего в образцах оставалось более 50% намагниченности. Также относительно магнитомягкой признана NRM нижней части слоя G, обладающего повышенными  $\chi$ , NRM, ARM.

Учитывая, что накопление горизонтально-слоистых отложений происходило в основном золowym путем в зоне пещеры с относительно стабильными климатическими характеристиками, рискнем предположить, что жесткая компонента намагниченности имеет ориентационную и посториентационную природу.

Поведение угловых характеристик намагниченности отложений представлено на рис 7. Каждая точка на

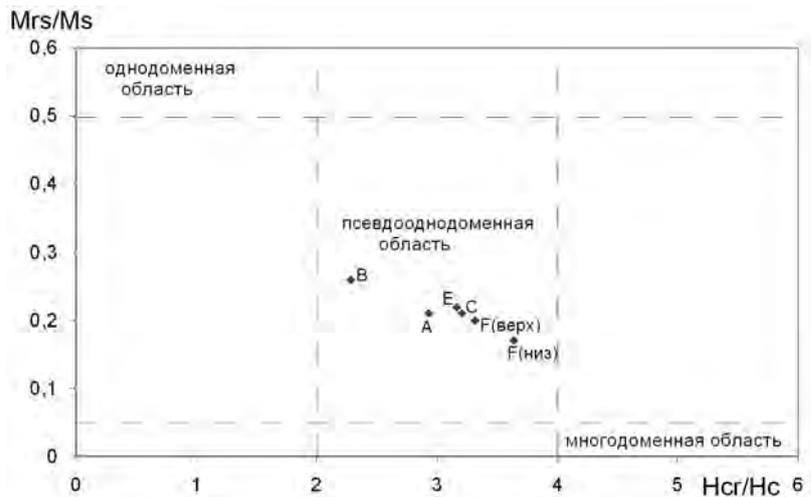


Рис. 5. Модифицированная диаграмма Дея (Dunlop, 2002) с вынесенными на нее пилотными образцами разреза из различных слоев.  
Fig. 5. Modified Day plot (Dunlop, 2002) with samples from different layers.

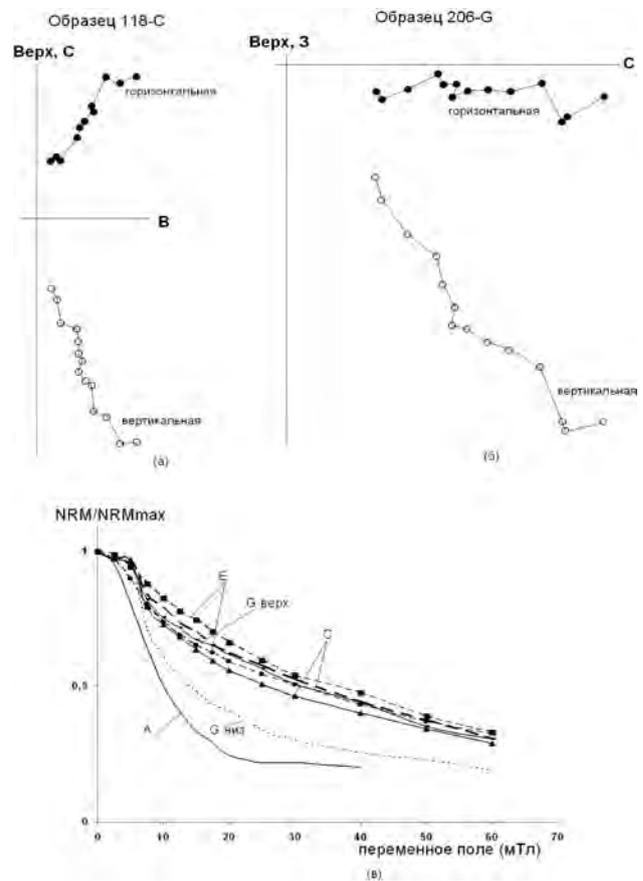


Рис. 6. Типичные диаграммы Зийдервельда (а), (б) и кривые размагничивания NRM образцов из разных слоев переменным полем (в).  
Fig. 6. Typical Zijderveld diagrams (a), (b) and curves of AF-demagnetization of NRM of samples from different layers.

кривых I и D соответствует среднему значению для 3-5 образцов, отобранных ручным способом (не из одного штуфа). Анализируя полученные кривые, заметим, что на кривой склонения в слое С выделяется восточный пик, который может быть сопоставлен с f-пиком

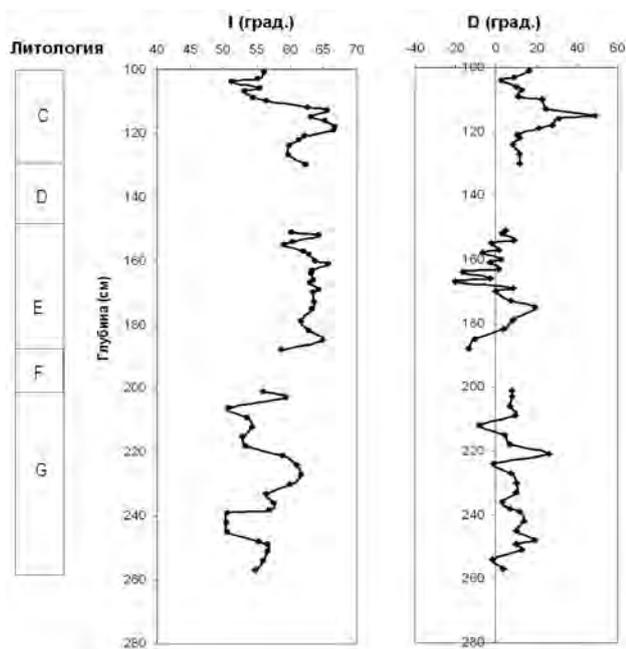


Рис. 7. Кривые изменения наклоения I (а) и склонения D (б) по глубине разреза.  
 Fig. 7. Variation of inclination I (a) and declination D (б) with depth.

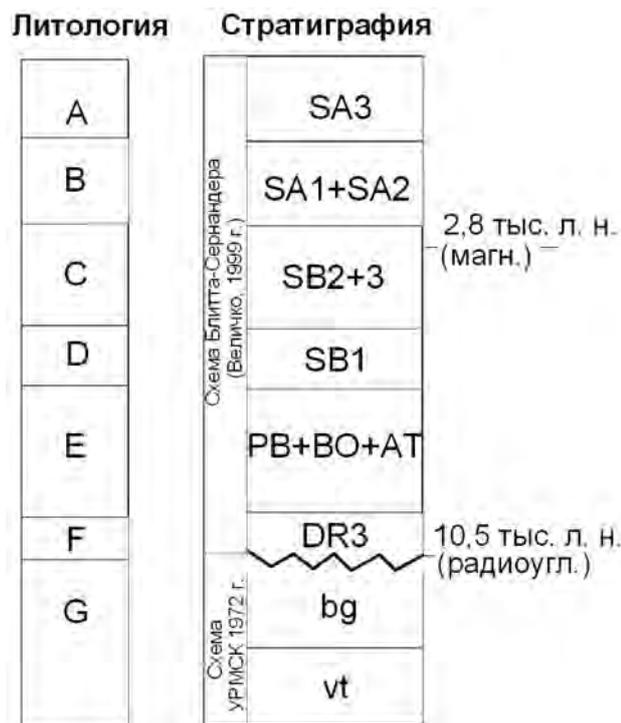


Рис. 8. Смена палеоклиматических обстановок в позднем плейстоцене-голоцене, записанная в отложениях разреза.  
 Fig. 8. Paleoclimatic changes during Late Pleistocene - Holocene recorded in sediments of the section.

склонения 2,8 тыс. л. н. по археомагнитным данным для территории Украины и Молдавии (Загний, Русаков, 1982). Оценить возраст других элементов кривых не представляется возможным из-за недостатка абсолютных датировок (всего одна радиоуглеродная дата на разрез). Во всей мощности разреза зон

аномальной или обратной магнитной полярности не зафиксировано.

К сожалению, для данного разреза из-за значительных изменений магнитной жесткости материала горизонтов не представляется возможным оценить относительную палеонапряженность магнитного поля по отношению NRM/ARM. В данном случае изменение этого параметра по глубине отражает скорее относительные изменения размеров зерен магнетита.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Попытаемся использовать имеющиеся датировки и распределения магнитных свойств для сопоставления литологии данного разреза с хроностратиграфическими подразделениями схемы Блитта-Сернандера для позднеледниковья - голоцена (Величко и др., 1999) и региональной стратиграфической схемы антропогена платформенной части УССР, утвержденной УРМСК в 1972 г.

Прежде всего, в разрезе (рис. 8) имеется два горизонта криогенного известнякового щебня (слои D, F) сформировавшихся в голоцене - позднеледниковье. Считаем возможным связать образование этих горизонтов с периодами минимальных температур, имевшими место по данным для Восточноевропейской равнины (Величко и др., 1999) в позднем суббореале (SB3) - слой D - и позднем дриасе (DR3) – слой F. Радиоуглеродная датировка кости сайги, найденной в слое F, подтверждает это предположение.

Далее попробуем представить ретроспективу климатических изменений в Крыму от современности к древности. В течение наиболее теплых периодов в пещеру заносился почвенный материал, хорошо диагностируемый в разрезе по магнитным свойствам. Слои А, В соответствуют субатлантическому периоду с теплым и влажным климатом в Крыму. Палеомагнитная дата верхней части слоя С относит его к относительно прохладному позднему суббореалу, которому предшествовал более теплый период SB1+2. Максимальная магнитность слоя С отмечается именно в нижней его части. Слой Е формировался, вероятно, в раннем и среднем голоцене (периоды РВ, ВО, АТ) при умеренном климате. Верхняя часть слоя G отлагалась в холодный период которому предшествовал теплый, зафиксированный в виде повышения магнитных свойств к низу этого слоя. Предположительно слой G может соответствовать подразделениям схемы УРМСК 1972 г. бугскому лессу + витачевскому педокомплексу.

Отметим, что скорость накопления суглинистого материала, относительно низкая в верхнем плейстоцене-раннем-среднем голоцене, несколько увеличивается в позднем голоцене.

Таким образом, магнитные горизонты А, В, С и нижняя часть G соответствует периодам относительного потепления климата, щебнистые (D, F) – похолоданиям, а слабомагнитные (Е, верх G) - переходным периодам для плато Чатырдаг и прилегающей территории.

**Выводы**

1. Исследованы магнитные свойства и палеомагнитные характеристики разреза вторичных золотых отложений пещеры Эмине-Баир-Хосар.

2. В результате комплексного анализа магнитных данных получена палеоклиматическая характеристика окрестностей плато Чатырдаг в голоцене - верхнем плейстоцене.

Авторы благодарны руководству и сотрудникам Геофизического отделения Мюнхенского университета Людвиг-Максимиллиана за предоставленную возможность выполнить магнитные измерения; руководству и сотрудникам Центра спелеотуризма «Оникс-Тур» (г.Симферополь) за содействие в проведении полевых исследований в пещере Эмине-Баир-Хосар.

## ЛИТЕРАТУРА

- Большаков В. А. Определение климатостратиграфического положения инверсии Матуяма-Брюнес в отложениях лессовой формации как комплексная проблема наук о Земле // *Физика Земли*. – 2004. – №12. – С. 58-76.
- Величко А.А. (ред.) Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена). – М: ГЕОС, 1999. – 260 с.
- Загний Г.Ф., Русаков О.М. Археовековые вариации геомагнитного поля Юго-Запада СССР. – Киев: Наук. думка, 1982. – 128 с.
- Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г., Ибрагимов Ш.З., Казанский А.Ю., Oberhaensli I., Heller F. Магнитные свойства осадков пещеры Загадай (Западное Прибайкалье) // *Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент. Материалы международного семинара*. – Борок, 2006. – С. 105-108.
- Поспелова Г.А., Голованова Л.В., Шаронова З.В., Семенов В.В. Палеомагнитные исследования отложений палеолитической стоянки в пещере Матузка (Северный Кавказ) // *Физика Земли*. – 2006. – №7. – С. 52-65.
- Поспелова Г.А., Каджалко-Хофмокл М., Круль Е., Кручик Я., Кулаков С.А., Левковская Г.М. Направление геомагнитного поля и палеоклимат, записанные в отложениях Ахштырской пещерной палеолитической стоянки (Северный Кавказ) // *Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент. Материалы международного семинара*. – Казань: Изд-во Казанского университета, 2004. – С. 324-329.
- Поспелова Г.А., Капичка А., Любин В.П., Шаронова З.В. Применение скалярных магнитных параметров пород для реконструкции палеоклимата в период формирования отложений в пещерах Кударо-I и Кударо-III (Южная Осетия, Грузия) // *Физика Земли*. – 2001. – №10. – С. 76-80.
- Ридуш Б., Времір М. Підсумки і перспективи палеонтологічного вивчення печер Криму // *Спелеологія і карстологія*. – Симферополь, 2008. – № 1. – С. 85-93.
- Ридуш Б.Т., Проскурняк Ю.М. Нові результати палеонтологічних досліджень з мега-пастки Еміне-Баір-Хосар // *Тезиси докладов міжнародної конференції «Кримські карстові читання: Состояние и проблемы карстолого-спелеологических исследований» (11-13 апреля 2008, г. Симферополь)*. – Симферополь, 2008. – С. 63-64.
- Dunlop D.J. Theory and application of the Day plot (Mrs/ Ms versus Hcr/Hc) 2. Application to data for rocks, sediments and soils. *J. Geophys. Res.*, 2002, 107, 2057, doi:10.1029/2001JB000487.
- Dearing J. Environmental magnetic susceptibility. Using the Bartington MS2 System. – Chi Publishing, England, 1999. – 52 p.
- Evans M. E., Heller F. Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics // *International Geophysics series*. – Elsevier science (USA), 2003. – V. 86. – 299 p.
- Vremir M. & Ridush B. The Emine-Bair-Khosar "Mega-Trap" (Ukraine) // *Mitteilungen der Kommission für Quartärforschung Österreichischen Akademie der Wissenschaften*. – Wien, 2005. – Band 14. – S. 235-239.