

УДК 550.382J61

## ПРИМЕНЕНИЕ СКАЛЯРНЫХ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРОД ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОКЛИМАТА В ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ В ПЕЩЕРАХ КУДАРО-1 И КУДАРО-Ш (ЮЖНАЯ ОСЕТИЯ, ГРУЗИЯ)

© 2001 г. Г. А. Поспелова<sup>1</sup>, А. Капичка<sup>2</sup>, В. П. Любев<sup>3</sup>, З. В. Шаронова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Геофизический Институт ЧАН, Прага, Чешская Республика

<sup>3</sup>Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 09.01.2001 г.

Магнитный метод исследований, основанный на колебаниях скалярных магнитных параметров пород вдоль изучаемых разрезов, применен для реконструкции палеоклимата времени формирования осадочных пород в пещерах Кударо-1 и Кударо-Ш (Южная Осетия, Грузия). На основании восстановленной магнитным методом климатической обстановки во время формирования отложений пещер сделан вывод, что изученные слои в пещере Кударо-1 на 100-150 тыс. лет моложе, чем в пещере Кударо-Ш. Показано, что заселение пещер ашельским человеком было одновременным. В слое 9 пещеры Кударо-Ш обнаружена запись раннеплейстоценового геомагнитного экскурса, видимо, экскурса Елунино-VII.

### ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция палеоклимата времени формирования осадочных пород является весьма важной проблемой, для решения которой применяются различные методы исследований. Наиболее надежным методом оценки палеоклимата является палинологический метод (растительность быстро и четко реагирует на изменения климата). В практику исследований успешно входит также новый физический метод - магнитный [Kukla et al., 1988; Beget, Hawkins, 1989 и др.]. Магнитный метод основан на колебаниях скалярных магнитных параметров пород вдоль изучаемого разреза, таких, как начальная магнитная восприимчивость  $K$ , безгистерезисная (идеальная) намагниченность  $ARM$ , остаточная намагниченность насыщения  $J_{rs}$ , в которых отражаются климатические изменения. Если породы содержат одинаковые по составу и структуре магнитные зерна, то вариации  $K$ ,  $ARM$  и  $J_{rs}$  пород разреза будут обусловлены изменениями концентрации магнитных минералов, что в основном связано с климатическими флуктуациями. Магнитный метод апробирован и подтвержден палинологическими данными, полученными на том же фактическом материале, что и магнитные исследования, в естественных обнажениях и в разрезах пещерных отложений. В лесово-почвенных разрезах Молдовы и в отложениях пещеры Треугольная (Сев. Кавказ) было установлено, что максимальные значения этих параметров коррелируют с теплым, влажным климатом, минимальные - с холодным, сухим

климатом; менее четкая корреляция магнитных параметров с изменениями климата наблюдается, когда климат был теплый, сухой либо прохладный, влажный [Поспелова, Левковская, 1994; Поспелова и др., 1996]. Комплексному изучению пород ранее подвергались некоторые слои в разрезах осадочных отложений в пещере Кударо-Ш [Поспелова, Левковская, 1994]. Магнитный метод перспективен при изучении отложений с культурными горизонтами (в археологических стоянках), когда необходимо установить климатическую обстановку, в которой жил древний человек. Настоящая статья посвящена восстановлению палеоклимата в период обитания в пещерах Кударо-1 и Кударо-Ш ашельских людей.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пещеры Кударо-1 и Кударо-Ш являются уникальными памятниками первоначального заселения Кавказа человеком: в них обнаружены культурные слои с каменными орудиями ашельской и мустьерской эпох. Пещеры находятся на территории Джавского района Южной Осетии (Грузия), в среднегорье южного склона центральной части Большого Кавказа. Пещеры располагаются одна над другой близ верхней границы современного горно-лесного пояса, на высоте 1580-1600 м над уровнем моря у речного южного торца известнякового кряжа Велуанта. Полости обеих пещер на 1/2-2/3 (Кударо-1), 3/4 (Кударо-Ш) части заполнены осадочными отложениями. Основная

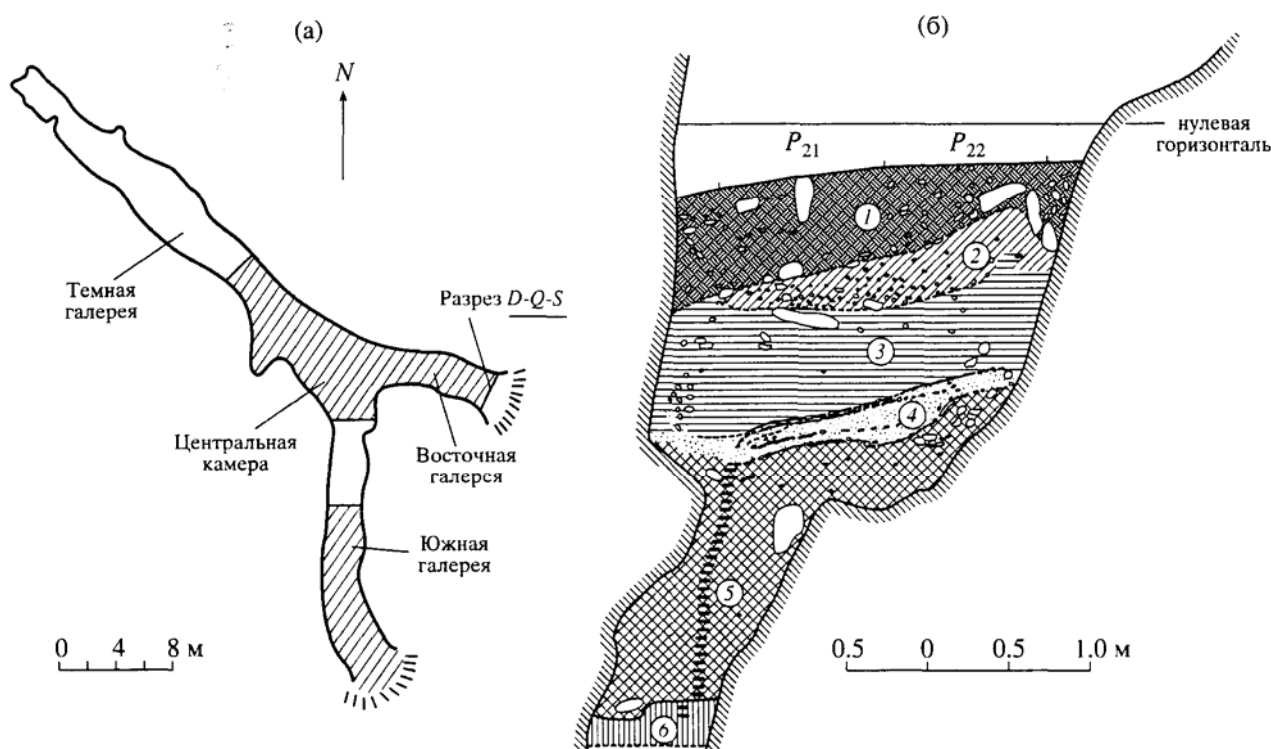


Рис. 1. Пещера Кударо-I: а – план (раскопанные части пещеры заштрихованы); б – поперечный разрез D–Q–S. Номера слоев обведены кружками; места взятия проб пород из слоев 5 и 6 обозначены черточками; нулевая горизонталь – линия отсчета глубин в изученном разрезе.

их часть, по мнению литолога А.Г. Черняховского [Ренгартен, Черняховский, 1980], представляет собой элювий глинисто-мергелистых сланцев. Пещеры раскапывались неоднократно ленинградскими археологами под руководством В.П. Любина, начиная с 1955 г. по 1998 г. [Любин, 1977; Любин, 1998]. В данной работе представлены результаты исследований преимущественно материалов раскопок 1998 г.

**Пещера Кударо-I** имеет длину более 50 м и состоит из трех узких галерей, лучеобразно отходящих от просторной центральной камеры (рис. 1а). В процессе своего развития пещера прошла как аккумулятивную, так и денудационную фазы развития. В результате этого часть отложений была смыта, и в толще осадков образовались большие и малые стратиграфические интервалы. Из аккумулятивных фаз лучше всего сохранились осадки второй половины верхнего плейстоцена (мустьерские слои 3 и 4), осадки средней поры среднего плейстоцена (ашельские слои 5а, б, в), а также придонные археологически стерильные глины слоя 6. В плоскости изучаемого разреза D–Q–S (рис. 1б) слой 5, однако, не расчленим. Этот разрез является наиболее репрезентативным в пещере, так как в нем отсутствуют глубокие эрозионные врезы, слой 5 залегает субгоризонтально, в образовании его существенную роль играло воз-

действие внешней среды. Слой 5 в разрезе D–Q–S, по мнению геолога А.Д. Колбутова, представлен нерасчленимой палево-буровой супесью (в кровле и в основании слабо сцементированной), слой 6 – темно-коричневой глиной.

**Пещера Кударо-III** находится непосредственно под пещерой Кударо-I. Современная ее длина равна 130 м, ширина 2–6 м, высота от 1 м у входа до 3–5 м в глубине. Пещера относится к типу полупогребенных. С ашельского времени вход в пещеру в результате денудации склона Часавальской горы отступил не менее чем на 12 м. Склоновая эрозия снесла кровлю некогда устьевой части пещеры. Наибольшую ценность представляет 12-метровая цокольная часть полости пещеры, сохранившаяся под обвальными и делювиальными шлейфами отложений (рис. 2б) [Любин, 1998; Любин, 1980; Любин, Левковская, 1972]. Древние (ашельские) культурные слои 5, 6, 7, 8, 8а (рис. 2в) располагаются именно в этой остаточной части былой устьевой галереи пещеры. Самые древние ашельские слои лучше всего представлены в разрезе  $O_1-K_1-M_1$ , секущем поперек южную треть желоба (рис. 2а). Слой 8а с находками единичных отщепов ашельской индустрии относится, видимо, к самому началу заселения кударских пещер. В слое 8а встречены многочисленные костные остатки пещерного медведя. Слой 9 – археологи-

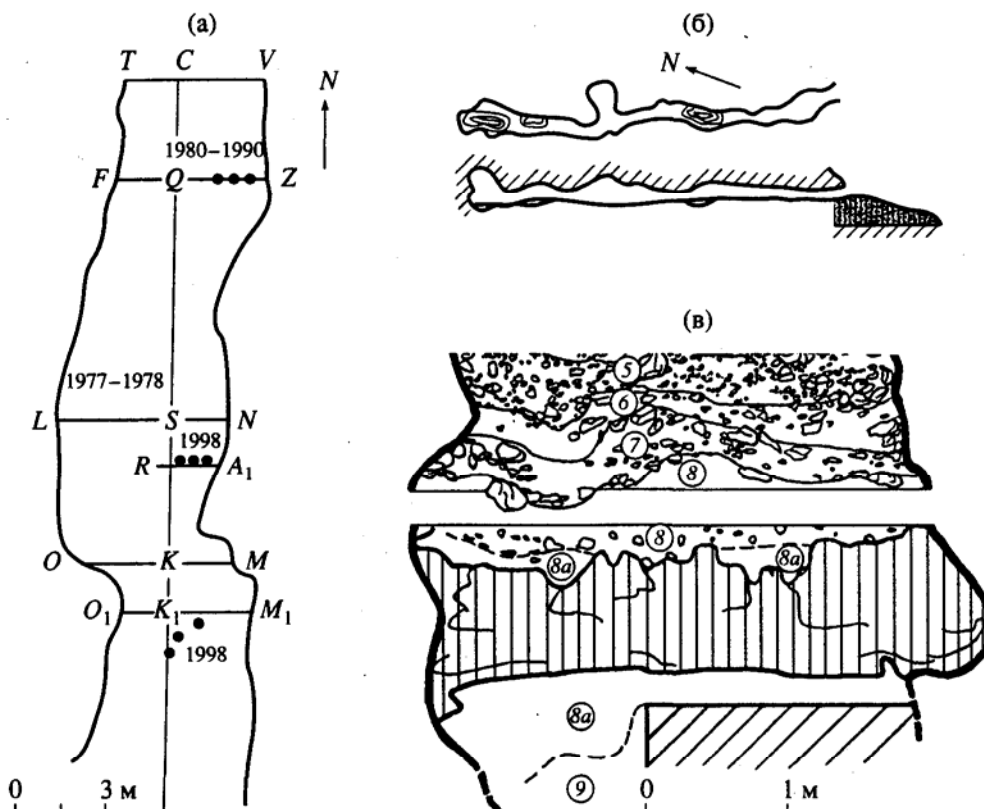


Рис. 2. Пещера Кударо-III: а – план раскопанной современной привходовой части (в масштабе). Залитые кружки – места взятия ориентированных образцов; б – разрез пещеры (не в масштабе). Вертикально заштрихованная часть – место раскопов. в – поперечный разрез отложений по линии  $O-K-M$  (верх) и  $O_1-K_1-M_1$  (низ) в бывшей устьевой галерее пещеры. 5–9 – номера слоев: 5, 6, 7, 8 и 8а – ашельские, 9 – стерильный (придонный). Вертикальной штриховкой обозначена кальцитовая платина, косой – нераскопанный участок.

чески стерилен. Слой 8а представлен суглинком ярко-коричневым с фосфатными журавчиками и с мелким единичным щебнем. В кровле слоя залегают локальные сталагмитовые корки. Слой 9 сложен плотной вязкой коричневато-бурой глиной.

### ОТБОР ОБРАЗЦОВ

В пещере Кударо-I отбор проб для магнитных исследований выполнен в двух слоях: в слое 5 с находками ашельской индустрии и в верхней части стерильного слоя 6 из разреза, расположенного в восточной галерее на границе современной площадки перед входом и современного устья этой галереи. В плейстоцене этот участок разреза находился под сводом пещеры (рис. 1б, разрез  $D-Q-S$ ). Пробы отобраны с шагом в основном 5 см с 30 уровней (28 – из слоя 5 и 2 – из слоя 6), расположенных на глубинах от 340 см до 160 см от нулевой горизонтали. Для сохранения естественной влажности пород пробы были помещены в пластиковые плотно закрывающиеся стаканчики. Для изучения скалярных магнитных параметров из 30 проб в лабораторных условиях изготовлено 156 образцов  $2 \times 2 \times 2$  см по 5–6 штук из каж-

дого уровня. Изготовление образцов выполнено двумя способами: 3 образца на уровне отбора получены путем лабораторного переосаждения пород, кроме того, 2–3 образца на уровне – набиванием сырой породы в пластиковые коробочки-кубики. Закрепление породы выполнялось пропитыванием образцов 50%-ным водным раствором силикатного клея ( $K$  силикатного клея  $= -1 \times 10^{-7}$  СИ). Для изучения состава магнитных минералов пород из кусочков проб изготовлены кубики  $1 \times 1 \times 1$  см.

В пещере Кударо-III из отложений слоев 8а и 9 для магнитных и палеомагнитных исследований отобраны ориентированные по магнитному меридиану образцы. В слое 8а взято по три образца в пяти точках из разрезов  $R-A_1$  и  $O_1-K_1-M_1$ , в слое 9 три образца из одной точки отбора в разрезе  $R-A_1$  (рис. 2а). Для палеомагнитных и магнитных исследований в лаборатории изготовлены образцы-кубики  $2 \times 2 \times 2$  см и  $1 \times 1 \times 1$  см. Использованы также образцы, отобранные в 1990 г. в слоях 8а и 9 (с 9 и 4 уровней соответственно) из расчистки разреза  $O_1-K_1-M_1$ .

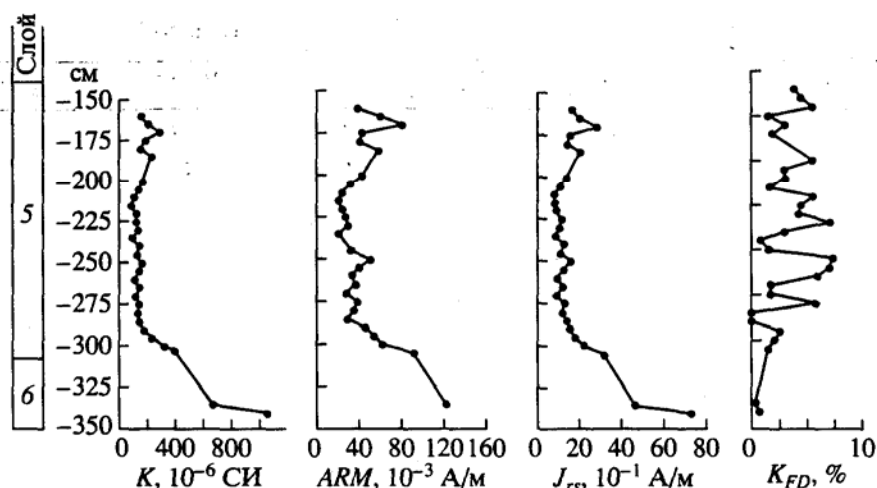


Рис. 3. Изменения  $K$ ,  $ARM$ ,  $J_{rs}$ ,  $K_{FD}$  вдоль разреза слоев 5 и 6 пещеры Кударо-I.

## МЕТОДИКА МАГНИТНЫХ И ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Магнитная восприимчивость пород  $K$  измерена на приборах  $KLY-2$  и  $Bartington MS-2$  при двух частотах:  $0.47 \text{ KHz}$  – измерена величина  $K_{LF}$  и  $4.7 \text{ KHz}$  – измерена величина  $K_{HF}$  пород.  $K_{FD}$  является характеристикой размера зерен в породе,  $K_{FD} = 100 \times (K_{LF} - K_{HF}) \%$  [Dearing et al, 1996]. Измерения  $J_n$  выполнены на приборах  $JR-4$  и  $SQUID$  (в ИФЗ РАН и в палеомагнитной лаборатории Института геофизики РАН). Ориентированные образцы размагничены в переменном магнитном поле до  $120 \text{ mT}$  с шагом  $2.5\text{--}5\text{--}10 \text{ mT}$  (ИГ РАН). Контрольные палеомагнитные исследования образцов проведены в лаборатории проф. Р. Ко Калифорнийского университета г. Санта-Кру (США). Образцы размагничены на установке  $Sarphuge$  в переменном магнитном поле. Измерения проведены в экранированной комнате на криогенном магнитометре  $C-2$  Interprize. По результатам размагничивания образцов в переменном магнитном поле выполнен компонентный анализ  $J_n$  для определения направления характеристической намагниченности пород. Диаграммы Зийдervельда построены по программе  $Enkin$ .

Оценка структуры магнитных зерен пород пещер выполнена по нормировке  $ARM$  и  $J_{rs}$  на  $K$ . Безгистерезисная (идеальная) намагниченность  $ARM$  создана в переменном магнитном поле  $100 \text{ mT}$  в присутствии постоянного магнитного поля  $0.05 \text{ mT}$ , остаточная намагниченность насыщения  $J_{rs}$  – в постоянном магнитном поле  $1100 \text{ mT}$ . Значения  $ARM$  и  $J_{rs}$  измерены на  $SQUID$  (ИГ РАН). Состав магнитных минералов пород изучен по температурной зависимости намагниченности насыщения  $J_s(t)$  в постоянном магнитном поле  $400 \text{ mT}$ , остаточной намагниченности насыщения  $J_{rs}(t)$ , полученной в том же поле на установке Ю.Л. Виноградо-

ва (ИФЗ РАН) и температурной зависимости магнитной восприимчивости  $K(t)$  на установке Furnace Apparatus CS-3 (Геофизический институт ЧАН).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

**Кударо-I.** Вдоль разреза Кударо-I магнитная восприимчивость пород  $K$  неоднородна. У образцов-кубиков, полученных в результате лабораторного переосаждения  $K_{1cp}$  (по 3-м образцам на каждом уровне) меняется в пределах  $65\text{--}980 \times 10^{-6} \text{ СИ}$ , у образцов, изготовленных набивкой осадка в пластиковую форму  $K_{2cp}$  (по 2–3 образцам на уровне) – в пределах  $98\text{--}2000 \times 10^{-6} \text{ СИ}$  (рис. 3, табл. 1). Для выяснения причины колебаний  $K$  и возможности использования этих значений для сопоставления по разрезу был выполнен корреляционный анализ рядов значений  $K_{1cp}$  и  $K_{2cp}$ . Коэффициент корреляции  $r$  между рядами  $K_{1cp}$  и  $K_{2cp}$  по 30 точкам равен  $0.983$ . Высокий коэффициент корреляции и между рядами значений  $K_{2cp}$  и  $K_{уд}$  – удельной, отнесенной к весу образца,  $r = 0.997$ . Значит, колебания величин  $K$  вдоль разреза не зависят от способа изготовления образцов, а являются характерным свойством изучаемых пород на каждом уровне отбора. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о правомерности использования в эксперименте образцов обоих способов изготовления.

Максимальными значениями магнитной восприимчивости обладают породы из слоя 6 и нижней части слоя 5 (рис. 3), минимальными  $K$  – породы средней части слоя 5, и вновь  $K$  повышается у пород верхней части слоя 5. Магнитные параметры  $ARM$  и  $J_{rs}$  пород Кударо-I ведут себя аналогично значениям  $K$  (рис. 3, табл. 1). Колебания значений  $K$ ,  $ARM$  и  $J_{rs}$  могут быть обусловлены несколькими причинами: изменением состава

Таблица 1. Скалярные магнитные параметры пород слоев 5 и 6 пещеры Кударо-I

| Глубина, см | № уровня | $K_{1cp}, 10^{-6}$ СИ | $K_{2cp}, 10^{-6}$ СИ | $K_{уд}, 10^{-2}$ СИ/кг | $ARM, 10^{-3}$ А/м | $J_{rs}, 10^{-1}$ А/м | $K_{FD}, \%$ |
|-------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|
| 160         | 30       | 113                   | 210                   | 3.5                     | 36.5               | 14.1                  | 3.3          |
| 165         | 29       | 176                   | 215                   | 3.6                     | 55.1               | 18.4                  | 3.9          |
| 170         | 28       | 236                   | 256                   | 4.3                     | 76.3               | 25.9                  | 4.5          |
| 175         | 27       | 135                   | 176                   | 2.3                     | 38.8               | 13.7                  | 1.1          |
| 180         | 26       | 121                   | 110                   | 2.0                     | 36.0               | 12.4                  | 2.5          |
| 185         | 25       | 200                   | 180                   | 2.6                     | 54.5               | 18.4                  | 1.4          |
| 200         | 24       | 153                   | 204                   | 2.2                     | 39.5               | 12.6                  | 5.1          |
| 205         | 23       | 115                   | 98                    | 1.8                     | 27.9               | 9.2                   | 2.5          |
| 210         | 22       | 83                    | 106                   | 2.0                     | 19.5               | 7.4                   | 2.8          |
| 215         | 21       | 65                    | 110                   | 2.0                     | 17.7               | 6.6                   | 1.3          |
| 220         | 20       | 88                    | 110                   | 1.8                     | 20.4               | 7.8                   | 5.2          |
| 225         | 19       | 89                    | 132                   | 2.3                     | 24.7               | 9.4                   | 4.1          |
| 230         | 18       | 98                    | 121                   | 2.4                     | 26.6               | 9.5                   | 3.9          |
| 235         | 17       | 65                    | 114                   | 2.1                     | 16.5               | 6.3                   | 6.7          |
| 240         | 16       | 122                   | 166                   | 2.8                     | —                  | 11.4                  | 2.7          |
| 245         | 15       | 111                   | 153                   | 2.7                     | 31.8               | 10.3                  | 0.4          |
| 250         | 14       | 148                   | 164                   | 2.4                     | 45.1               | 14.3                  | 1.2          |
| 255         | 13       | 99                    | 188                   | 3.6                     | 36.1               | 10.0                  | 7.0          |
| 260         | 12       | 92                    | 142                   | 2.6                     | 29.2               | 8.5                   | 6.8          |
| 265         | 11       | 126                   | 174                   | 3.3                     | 32.6               | 11.4                  | 5.6          |
| 270         | 10       | 98                    | 184                   | 3.2                     | 25.7               | 8.6                   | 1.5          |
| 275         | 9        | 128                   | 184                   | 2.9                     | 36.6               | 12.0                  | 1.6          |
| 280         | 8        | 118                   | 192                   | 2.5                     | 32.2               | 10.7                  | 5.4          |
| 285         | 7        | 125                   | 195                   | 3.6                     | 27.0               | 10.3                  | 0.0          |
| 290         | 6        | 175                   | 264                   | 4.2                     | 44.0               | 14.8                  | 0.0          |
| 295         | 5        | 221                   | 343                   | 5.4                     | 52.4               | 17.2                  | 2.2          |
| 300         | 4        | 302                   | 485                   | 7.4                     | 61.2               | 22.3                  | 1.9          |
| 305         | 3        | 433                   | 608                   | 10.5                    | 90.9               | 30.7                  | 1.4          |
| 335         | 2        | 678                   | 1070                  | 14.8                    | 120.6              | 45.3                  | 0.3          |
| 340         | 1        | 981                   | 1941                  | 26.8                    | —                  | 72.4                  | 0.6          |

$K_{1cp}$  — средняя магнитная восприимчивость по трем образцам на уровне, полученным при лабораторном переосаждении.  $K_{2cp}$  — то же по образцам, изготовленным набиванием сырой породы в пластиковые коробочки.  $K_{уд}$  — удельная магнитная восприимчивость одного образца на уровне.  $ARM, J_{rs}, K_{FD}$  — единичных образцов на уровне.

магнитных минералов в породах вдоль разреза, разной структурой магнитных зерен, изменением концентрации магнитных минералов.

С целью изучения состава магнитных минералов пород из слоев 5 и 6 разреза Кударо-I для семи образцов из разных участков разреза получена температурная зависимость намагниченности насыщения  $J_s$  в поле 400 мТ и остаточной намагниченности насыщения  $J_{rs}$ . По кривым термомагнитного анализа  $J_s(t)$  и  $J_{rs}(t)$  видно, что основным носителем намагниченности является магнетит (рис. 4а). На кривых  $J_s(t)$  обнаружена практически единственная фаза с точкой Кюри  $T_c = 580^\circ\text{C}$ .

Соответственно величина  $J_s$  определяет содержание магнетита в породах. Судя по величине  $J_s$  (табл. 2), содержание магнетита в породах разреза неодинаково. Оно максимально в породах слоя 6 и в нижней части слоя 5,  $J_s$  образца № 1 равна  $40.8 \times 10^{-2}$  Ам<sup>2</sup>/кг, минимально в средней части слоя 5 ( $J_s$  образца № 16 равна  $4.1 \times 10^{-2}$  Ам<sup>2</sup>/кг). В верхней части слоя 5 концентрация магнетита снова несколько возрастает (см. табл. 2). На кривых  $J_{rs}(t)$  всех изученных образцов наблюдаются перегибы в области температур ~200 и 320–380°C. Перегибы, очевидно, вызваны окислением магнетита и появлением в породах маггемита. Спад

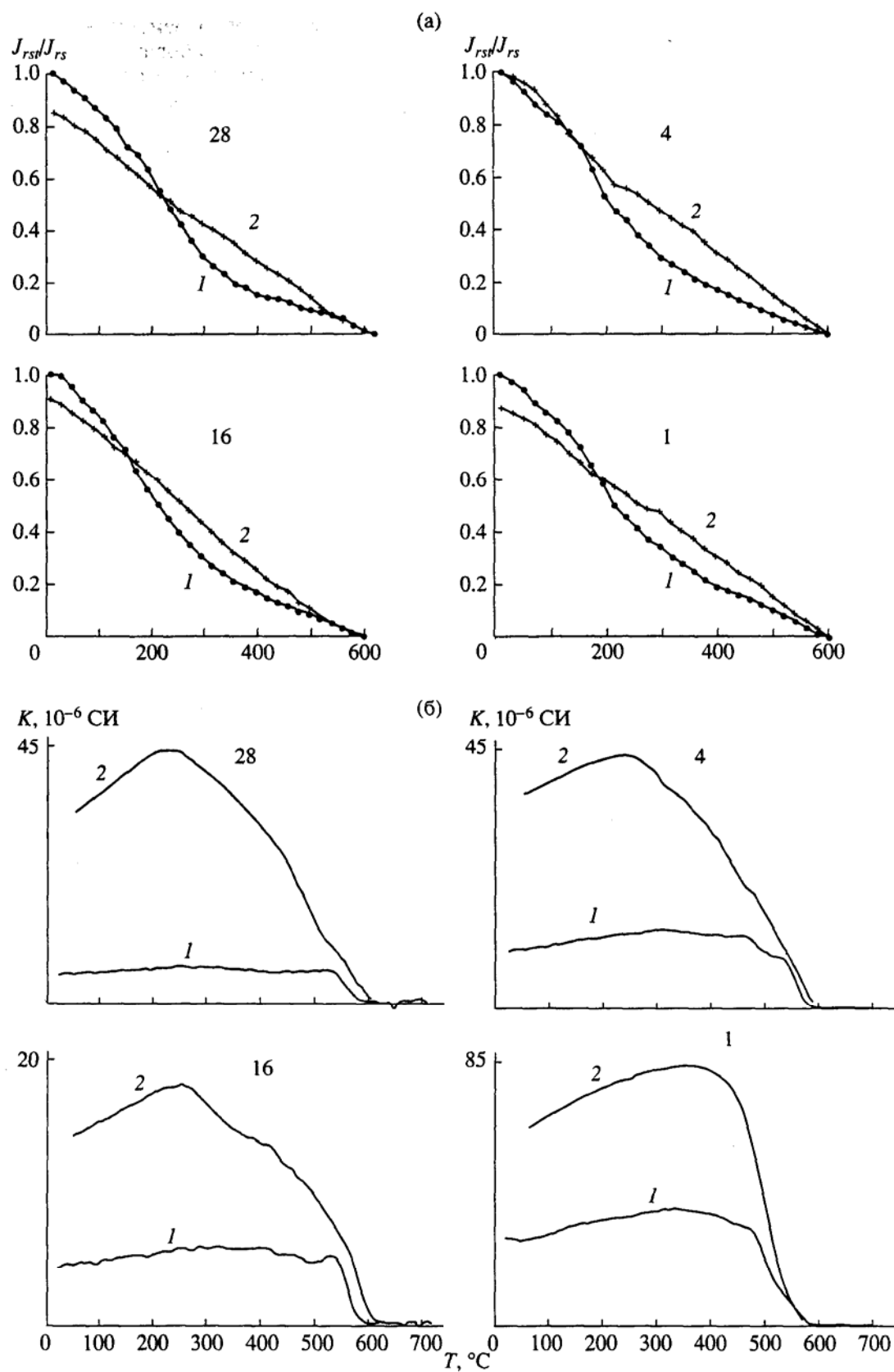


Рис. 4. а – кривые температурной зависимости остаточной намагниченности насыщения  $J_{rst}(t)$  для образцов из разных частей разреза Кударо-1. 1 – кривая первого нагрева образца, 2 – кривая повторного нагрева образца; б – кривые температурной зависимости магнитной восприимчивости  $K(t)$  образцов разреза Кударо-1. 1 – кривая нагрева образца, 2 – кривая охлаждения образца.

**Таблица 2.** Температурные характеристики пород пещеры Кударо-I

| № образца | $T_b, ^\circ\text{C}$ | $J_s, 10^{-2} \text{ Ам}^2/\text{кг}$ | $J_{rs}/J_{rs}$ | $J_{st}/J_s$ |
|-----------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------|--------------|
| 1         | 220, 380, 580         | 34.90                                 | 0.90            | 0.77         |
| 1a        |                       | 40.77                                 |                 |              |
| 3         | 220, 360, 580         | 17.03                                 | 0.85            | 0.83         |
| 3a        |                       | 16.12                                 |                 |              |
| 4         | 200, 320, 580         | 8.67                                  | 0.72            | 0.88         |
| 5         | 200, 320, 580         | 9.32                                  | 1.12            | 0.79         |
| 5a        |                       | 9.58                                  |                 |              |
| 14        | 200, 350, 580         | 5.33                                  | 0.91            | 0.80         |
| 14a       |                       | 6.25                                  |                 |              |
| 16        | 200, 350, 580         | 4.78                                  | 1.38            | —            |
| 16a       |                       | 4.10                                  |                 |              |
| 28        | 200, 350, 580         | 9.40                                  | 0.85            | 0.73         |
| 28a       |                       | 8.57                                  |                 |              |

$T_b$  – блокирующая температура.

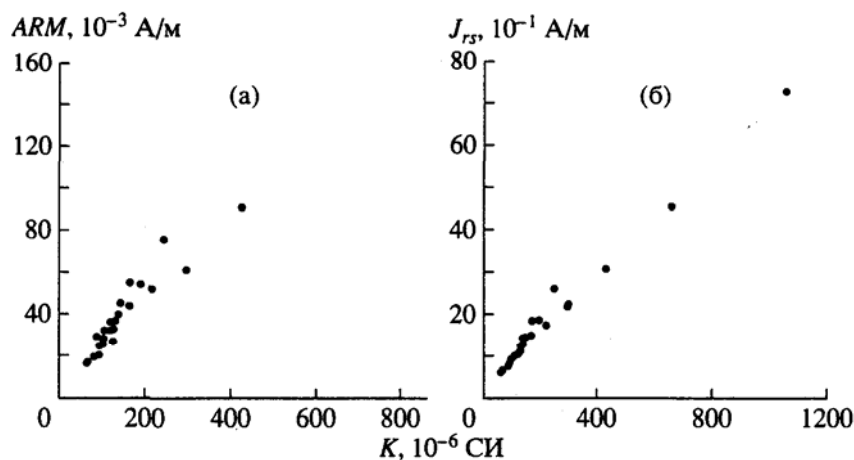
$J_{rs}(t)$  в области температур  $\sim 200^\circ\text{C}$  можно объяснить снятием напряжений, возникающих из-за различий параметров кристаллической решетки магнетита и маггемита [Печерский, Тихонов, 1988]. Маггемит при нагреве до  $\sim 400^\circ\text{C}$  переходит в гематит, что приводит к спаду общей намагниченности образцов пород – отношения  $J_{st}/J_s$  (где  $J_s$  и  $J_{st}$  – величины до и после нагрева до  $600^\circ\text{C}$  соответственно) меньше единицы и меняются в пределах 0.73–0.88 (таблица 2). Уменьшение величины  $J_{rs}$  у образцов пород после нагрева меньше, чем величины  $J_s$ , причем иногда наблюдается даже увеличение  $J_{rs}$  после нагрева (образец № 16 –  $J_{rst}/J_{rs} = 1.38$ , см. табл. 2), что может быть обус-

ловлено двумя одновременными процессами, происходящими при лабораторном нагреве: превращением маггемита в гематит и образованием новых мелких зерен магнетита за счет немагнитных минералов. Эти превращения в большей степени отражаются на величине  $J_{rs}$ , чем на  $J_s$ . Изучение температурной зависимости магнитной восприимчивости  $K(t)$  подтвердило, что единственным ферромагнитным минералом в породах является мелкозернистый магнетит (рис. 4б).

Зависимость  $ARM$  и  $J_{rs}$  от  $K$  у пород разреза Кударо-I близка к линейной (рис. 5а, б), т.е. структура магнитных зерен пород вдоль разреза подобна. Следовательно, флуктуации скалярных магнитных параметров в породах разреза связаны с изменением концентрации зерен магнетита в породах.

Измерения магнитной восприимчивости при двух частотах показали, что значения  $K_{FD}$  различны в разных частях разреза: в слое 6 и низах слоя 5 значения  $K_{FD}$  близки к 0%, что указывает на отсутствие суперпарамагнитных зерен. Выше образца № 7 в слое 5  $K_{FD}$  колеблются вокруг среднего значения 3.5%, максимальные значения  $K_{FD}$  равны 7% (рис. 3), т.е. в породах слоя 5 присутствуют суперпарамагнитные зерна магнетита [Dearing et al, 1996].

**Кударо-III.** В пещере Кударо-III магнитная восприимчивость, измеренная на естественных образцах пород, отобранных из разрезов  $RA_1$  и  $O_1-K_1-M_1$  из слоев 8а и 9, колеблется в интервале  $660\text{--}240 \times 10^{-6}$  СИ. Наименьшие средние значения  $K$  у образцов слоя 9 ( $K_{cp} = 300 \times 10^{-6}$  СИ), в слое 8а  $K_{cp}$  меняются в пределах  $630\text{--}370 \times 10^{-6}$  СИ. Если построить сводный разрез, включая образцы пород отбора 1990 г. [Поспелова, Левковская, 1994], значения  $K$  которых хорошо согласуются с  $K$  пород отбора 1998 г., то получим, что  $K$  колеблется в интервале  $700\text{--}100 \times 10^{-6}$  СИ (рис. 6а). В сводном

**Рис. 5.** Нормировка  $ARM$  (а) и  $J_{rs}$  (б) на  $K$  образцов пород пещеры Кударо-I.

разрезе слоя 8а значения  $K$  увеличиваются сверху вниз, резко падая до  $200 \times 10^{-6}$  СИ в основании разреза 8а. В слое 9 значения  $K$  в среднем составляют всего  $160 \times 10^{-6}$  СИ (рис. 6а).

Для изучения состава магнитных минералов – носителей намагниченности из слоев 8а и 9 на четырех образцах получена зависимость остаточной намагниченности насыщения от температуры  $J_{rs}(t)$ , которая свидетельствует о присутствии в породах в основном зерен магнетита (рис. 6б). Точки зависимости  $ARM(K)$  и  $J_{rs}(K)$  ложатся на одну прямую, что указывает на подобие структуры магнитных зерен пород в слоях 8а и 9 (рис. 6в).

Исследования показали, что состав и структура магнитных зерен пород во всех изученных образцах одинаковы (рис. 4, 5, 6а–6в) как в разрезе Кударо-I, так и Кударо-III, различия лишь в концентрации зерен магнетита.

Размагничивание ориентированных образцов из пещеры Кударо-III в переменном магнитном поле показало, что первичная остаточная намагниченность пород слоя 8а имеет прямую полярность, образцы слоя 9 – обратную (рис. 7а, б).

## ДИСКУССИЯ

Ранее при синхронном проведении магнитных и палинологических исследований пород было установлено, что в изменениях скалярных магнитных параметров пород отражаются климатические флуктуации времени формирования пород, если в изучаемом разрезе состав и структура магнитных зерен одинаковы [Поспелова, Левковская, 1994, Поспелова и др., 1996]. В результате магнитных исследований пород пещер Кударо-I и Кударо-III получено, что единственным магнитным минералом в них является мелкозернистый магнетит, структура которого подобна в породах изученных разрезов. Это позволяет использовать значения скалярных магнитных параметров для оценки климатических изменений в период формирования пород в разрезах Кударо-I и Кударо-III.

Породы слоя 6 и низов слоя 5 разреза пещеры Кударо-I имеют максимальные значения скалярных магнитных параметров ( $K$ ,  $ARM$ ,  $J_{rs}$ ). На основании этого можно сделать заключение, что они формировались во время оптимума – теплого, влажного климата. Породы средней части слоя 5 с низкими значениями магнитных параметров формировались в период похолодания климата (но не экстремума похолодания), породы верхней части слоя 5 – во время небольшого потепления климата.

Изучение магнитной восприимчивости пород на приборе Bartington MS-2 при двух частотах дает информацию о формировании осадков в условиях водного или воздушного сноса материала. Отсутствие суперпарамагнитной фракции в породах

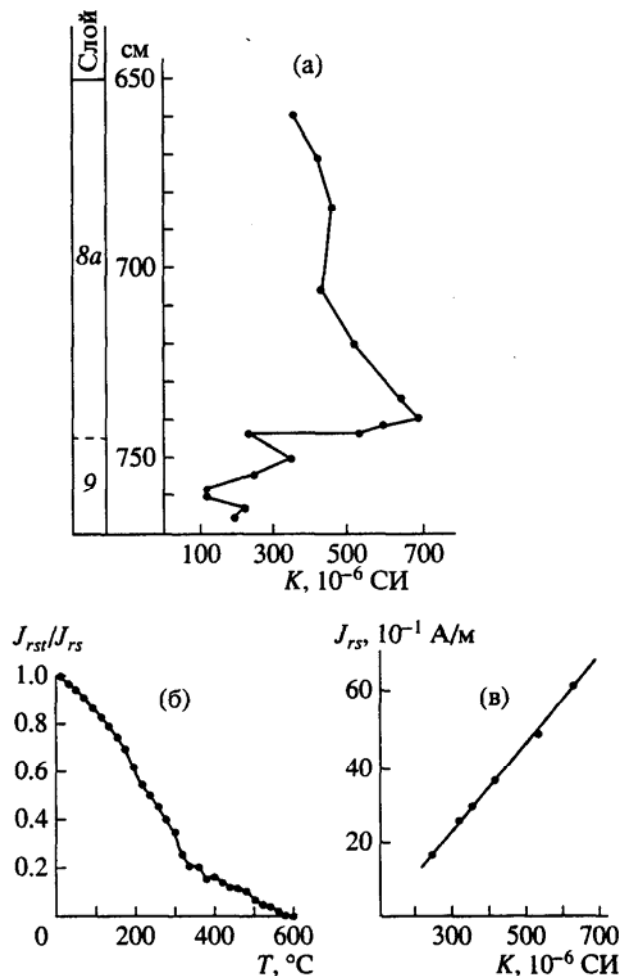


Рис. 6. а – изменение  $K$  вдоль сводного разреза слоев 8а и 9 пещеры Кударо-III; б – пример кривой температурной зависимости остаточной намагниченности насыщения  $J_{rs}(t)$  образца из пещеры Кударо-III; в – нормировка  $J_{rs}$  на  $K$  образцов пород пещеры Кударо-III.

слоя 6 свидетельствует о том, что формирование осадка шло только за счет водного режима, видимо, пещера в этот период была закрыта. Небольшой процент суперпарамагнитной фракции в породах нижней части слоя 5 до глубины 285 см также указывает на преимущественно водный режим сноса. В дальнейшем к водному режиму присоединился воздушный. В течение формирования слоя 5 пещера была открыта.

В разрезе Кударо-I параллельно с отбором проб для магнитных исследований выполнен с тех же уровней отбор проб для спорово-пыльцевого анализа. Палинологическое изучение пород разреза D-Q-S, проводимое Г.М. Левковской, находится в работе. Однако имеются палинологические данные по слою 5 более ранних лет (в раскопах 1978, 1983, 1986 г.г. (рис. 2)). По палинологическим данным пород слой 5 раскопа 1986 г. оказался на-

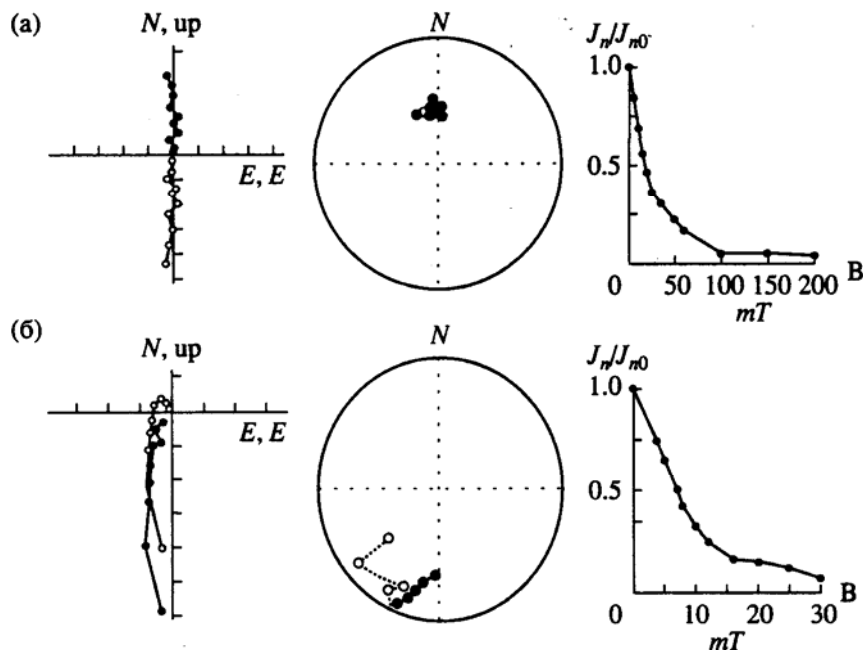


Рис. 7. Диаграммы Зийдervельда, стереограммы и зависимости  $NRM$  в переменном магнитном поле прямо (а) и обратно (б) намагниченных образцов из пещеры Кударо-III.

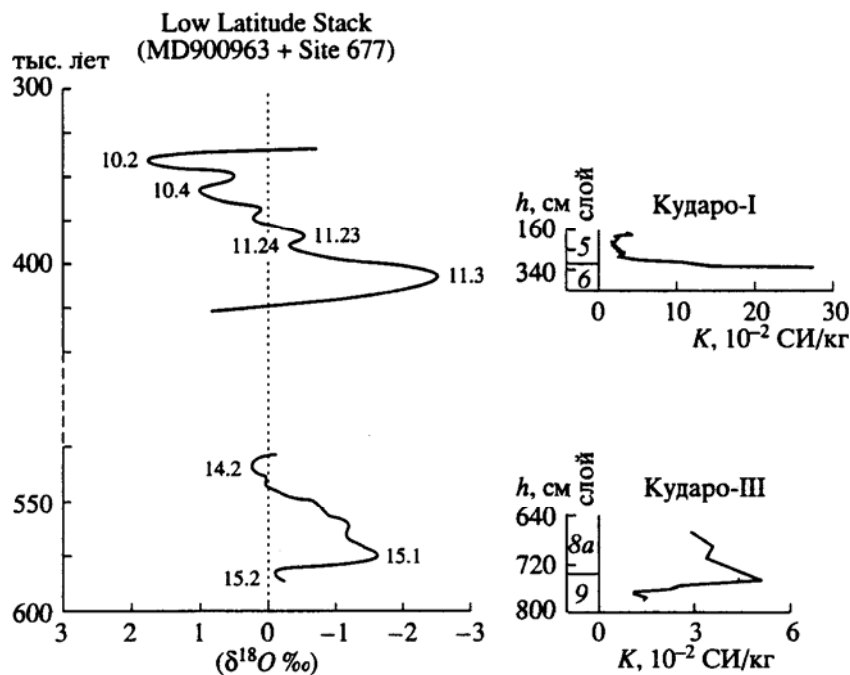


Рис. 8. Корреляция кривой  $K$  вдоль разрезов Кударо-I и Кударо-III с изотопно-кислородными стадиями [Shackleton et al., 1990].

и более полным. В нем Г.М. Левковской разграничиваются четыре стадии в развитии флоры и климата. Два оптимума разделены стадией относительного обеднения форм. Оптимум в основании слоя 5 сменяется выше по разрезу фазой похолодания и иссушения климата. В разрезе, отличаю-

щемся меньшей полнотой, вскрытом в 1978 г., в низах слоя 5 выделен оптимум, а в разрезе 1983 г. в нижней части слоя 5 зафиксирован конец оптимума, а выше – последующая холодная фаза. Эти данные, полученные Г.М. Левковской, в целом согласуются с реконструкцией климата по маг-

нитным данным: оптимум во время формирования низов слоя 5, сменяемый похолоданием.

В 1988 г. для образцов отложений слоя 5 из разреза *W-O* в южной галерее О.А. Куликовым (МГУ) были получены две датировки РТЛ методом:  $350 \pm 70$  тыс. лет (РТЛ-373) для верхней трети этого слоя и  $360 \pm 80$  тыс. лет (РТЛ-379) - для средней его части. В 1998 г. этим же методом, в той же лаборатории были получены еще две датировки для образцов слоя 5 из разреза *D-Q-S* в восточной галерее:  $322 \pm 65$  тыс. лет (РТЛ-924) - для подошвы этого слоя и  $172 \pm 35$  тыс. лет (РТЛ-925) - для самых его верхов, на границе с вышележащим слоем. Кроме того, для слоя 5 имеется также датировка по изотопам тория, полученная ранее В.В. Чердынцевым, -  $>200-300$  тыс. лет, а для размытой кровли этого слоя, на контакте с залегающими выше отложениями -  $110 \pm 10$  тыс. лет [Любин, 1993]. Разброс дат для основной части слоя 5 можно объяснить погрешностями метода РТЛ и, скорее всего, сложностью стратиграфического строения слоя 5 в разных частях пещеры, возможностью локальных размывов отдельных его уровней и т.п. Тем не менее, возрастные оценки для низов слоя 5 согласуются удовлетворительно. Значительно более молодые даты для кровли слоя 5 могут быть результатом отбора проб в контактной зоне с более поздними напластованиями слоя 4 и вероятной стратиграфической лакуны между этими слоями. Некоторое омоложение датировок можно объяснить также воздействием на отложения привходового разреза *D-Q-S* различных внешних агентов выветривания (перепада температур, атмосферных осадков, растительности и пр.) [Рёнгартен, Черняховский, 1980].

Если предположить, что в слое 5 отсутствовали длительные перерывы в осадконакоплении, то, исходя из РТЛ дат для нижней части слоя 5 и реконструкций климатической обстановки в разрезе, полученной по магнитным и частично по палинологическим данным, можно предложить один из вариантов интерпретации: максимальные значения *K*, соответствующие слою 6 и началу слоя 5, коррелируют с оптимумом 11.3 изотопно-кислородной стадии, климатическая обстановка во время формирования средней части слоя 5 сопоставляется с изотопной стадией 11.24, а верхней части слоя 5 - со стадией 11.23 (рис. 8) [Shackleton et al., 1990, Bassinot et al., 1994]. При таком сопоставлении интервал времени, в течение которого формировались слои 6 и 5, составляет  $\approx 400-370$  тыс. лет.

Согласно археологическим данным, слой 5 пещеры Кударо-I с находками ашельской культуры может быть одновозрастным слою *8a* пещеры Кударо-III, тогда слой 6 Кударо-I можно сопоставить со слоем 9 Кударо-III. Однако, по магнитным данным пород пещеры Кударо-III в период формирования слоев 9 и *8a*, наблюдается другая

климатическая обстановка, чем при формировании слоев 6 и 5 пещеры Кударо-I. В разрезе пещеры Кударо-III наибольшие значения магнитных параметров фиксируются у пород слоя *8a*, увеличиваясь при этом сверху вниз и резко падая в основании слоя *8a*, в то время как в слое 5 пещеры Кударо-I значения *K* возрастают к подошве разреза и продолжают расти в подстилающем его слое 6. В слое 9 пещеры Кударо-III наблюдаются низкие значения *K*, которые уменьшаются вниз по разрезу (рис. 3,6a). На основании этого можно считать, что во время формирования слоя 9 климат был менее теплый и влажный, чем в период формирования слоя 6, когда наблюдался оптимум. В средней стадии осадконакопления слоя 9 климат был холодный [Поспелова, Левковская, 1994]. Отложения самых низов слоя *8a* происходили во время климата более холодного, чем в остальной части слоя *8a*. В разрезе *Oi-K<sub>f</sub>-Mi* (рис. 2) слой *8a* формировался в условиях потепления климата. Поведение кривой изменения магнитной восприимчивости вдоль сводного разреза слоев *8a* и 9 пещеры Кударо-III подобно кривой изотопно-кислородной стадии 15 (рис. 8).

Различие климатической обстановки в период образования слоев *8a* и 9 пещеры Кударо-III и слоев 5 и 6 пещеры Кударо-I указывает на то, что слои формировались в разные интервалы времени. Это согласуется и с данными РТЛ датирования (см. выше). Возраст слоя *8a* датируется в  $560 \pm 112$  тыс. лет (РТЛ-512) [Любин, 1993].

В результате палеомагнитных исследований ориентированных образцов пещеры Кударо-III можно прийти к выводу, что прямо намагниченные породы слоя *8a* формировались во время хрона Брюнес. Обратная полярность пород слоя 9 может быть обусловлена двумя причинами. Во-первых, запись в породах раннеплейстоценового геомагнитного экскурса хрона Брюнес, в течение которого геомагнитное поле имело обратную полярность. Запись экскурса может быть сопоставлена с геомагнитным экскурсом Елунино-VII, возраст которого оценивается в 625-600 тыс. лет [Поспелова и др. 1998]. Возраст пород слоя *8a*, залегающего на слое 9, по РТЛ датированию оценен в  $560 \pm 112$  тыс. лет [Любин, 1993]. Кроме того, первая половина экскурса Елунино-УП приходится на похолодание [Поспелова и др., 1998], что согласуется с климатической обстановкой, во время которой формировался слой 9. Во-вторых, если перерыв осадконакопления между слоями 9 и *8a* был длительным, то, возможно, что в обратном намагниченном слое 9 записан конец хрона Матуяма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изучения магнитных параметров пород следует отметить, что породы из слоев 5

и 6 пещеры Кударо-I и из слоев 8а и 9 Кударо-III разновозрастны, что подтверждает датирование РТЛ методом [Любин, 1993]. Климатическая обстановка в период формирования слоев 5 и 6 Кударо-I и 8а и 9 Кударо-III была неоднородной. Магнитные данные свидетельствуют, что стерильный слой 6 и низы слоя 5 с ашельской культурой формировались в период оптимума, который может быть сопоставлен с 11.3 изотопно-кислородной стадией, причем в этот интервал времени осадконакопление происходило преимущественно за счет водного режима. Средняя часть слоя 5 формировалась, видимо, во время 11.24 изотопной стадии, а верхняя часть слоя 5 - в 11.23 стадию, когда существовали водный и воздушный режимы (рис. 8). В сводном разрезе слоев 8а и 9 пещеры Кударо-III магнитная восприимчивость пород слоя 9 сопоставляется с изотопно-кислородной стадией 15.2, а К слоя 8а со стадией 15.1 (рис. 8). На основании вышеизложенных данных можно предположить, что заселение человеком пещеры Кударо-III, расположенной под пещерой Кударо-I, происходило значительно раньше, видимо, на 100-150 тыс. лет, чем пещеры Кударо-I.

С целью сопоставления магнитных и палинологических данных изложенные в работе исследования будут продолжены после получения результатов по спорово-пыльцевому анализу, выполняемому Г.М. Левковской.

Обратная полярность пород слоя 9 пещеры Кударо-III позволяет предположить, что в слое 9 обнаружена запись раннеплейстоценового геомагнитного экскурса, видимо, Елунино-УП (=620 тыс. лет), происходившего преимущественно в холодную климатическую стадию [Поспелова и др., 1998]. Для окончательного ответа на этот вопрос необходим более представительный материал из слоя 9.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Е.В. Беляевой за отбор проб и ориентированных образцов в пещерах Кударо-I и III, проф. М. Кадзилко-Хофмюллер, зав. палеомагнитной лабораторией Института геофизики Польской АН за предоставленную возможность проведения лабораторных исследований, проф. Р. Ко (Калифорнийский ун-т, г. Санта-Кру, Калифорния, США), в лаборатории которого выполнено контрольное размагничивание образцов, Д. Метелкину - за проведение контрольного эксперимента, а также Г.М. Левковской - за предоставление неопубликованных материалов по спорово-пыльцевому анализу проб Кударо-I.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 98-05-64691 /и гранта фонда Ли-ки (США) за 1998 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Любин В.П. Мустьерские культуры Кавказа. Л.: Наука. 1977. 222 с.
- Любин В.П. Некоторые итоги изучения литолого-стратиграфических и биостратиграфических показателей кударских пещер // Кударские пещерные палеолитические стоянки в Юго-Осетии. М.: Наука. 1980. С. 153-166.
- Любин В.П. Хроностратиграфия палеолита Кавказа // Российская археология. 1993. № 2. С. 5-14.
- Любин В.П. Ашельская эпоха на Кавказе. С.-П.: Изд-во ИИМК РАН. 1998. 192 с.
- Любин В.П., Левковская Г.М. Пещера Кударо-III (Юго-Осетия) // Материалы и исследования по археологии СССР. 1972. № 185. С. 25-40.
- Печерский Д.М., Тихонов Л.В. Петромагнитная характеристика палеозойских офиолитов Алайского хребта // Изв. АН СССР. Сер. геолог. 1988. № ю. С. 46-62.
- Поспелова Г.Л., Левковская Г.М. Отражение климатических изменений в магнитной восприимчивости осадочных пород // Докл. РАН. 1994. Т. 334. № 2. С. 222-227.
- Поспелова Г.А., Шаронова З.В., Мионов Т.В., Левковская Г.М. Отражение климатических изменений в магнитных параметрах осадочных пород пещеры Треугольная (Северный Кавказ) и палеомагнитные исследования этих пород // Физика Земли. 1990. № 9. С. 57-69.
- Поспелова Г.А., Левковская Г.М., Семенов В.В., Шаронова З.В. и др. Магнитостратиграфия и палинология раннеплейстоценовых лессово-почвенных толщ бассейна Верхнего Дона // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6. № 2. С. 65-80.
- Ренгартен Н.В., Черняховский А.Г. Состав и условия образования осадочных отложений в пещере Кударо-I // Кударские пещерные палеолитические стоянки в Юго-Осетии. М.: Наука. 1980. С. 33-44.
- Bassinot F.C., Labeyrie L.D., Vincent E. et al. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama reversal // Earth Planet. Sci. Lett. 1994. V. 126. P. 91-108.
- Beget J.E., Hawkins D.B. Influence of orbital parameters on Pleistocene loess deposition in central Alaska // Nature. 1989. 337. №6. P. 151-153.
- Dearing J.A., Dann R.J.L., Hay K. et al. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials // Geophys. J. Int. 1996. V. 124. P. 228-240.
- Kukla G., Heller E., Ming Lin Xieu et al. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility // Geology. 1988. V. 16. №9. P. 811-814.
- Shackleton N.J. et al. // Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci. 1990. V. 81. P. 251-261.