

Геология

УДК 550.38

Г.В. МАРКОСЯН, А.Г. БАРСЕГЯН

АРХЕОМАГНИТНАЯ ДАТИРОВКА АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
АРМЕНИИ

В статье дан краткий обзор принципов археомагнитной датировки. Представлены кривые векового хода параметров геомагнитного поля, полученные расчетным путем на основании гипотезы о дипольности геомагнитного поля. При построении кривых использовались базы данных археомагнитных определений, накопленные на территории соседних с Арменией стран. Представлен новый метод отбора образцов. Проведена датировка археомагнитных образцов, отобранных на территории Армении.

Один из методов абсолютной датировки в археологии – археомагнитный – привлекает в последнее время пристальное внимание специалистов. В основе метода лежит тот факт, что после обжига керамические изделия (печи, кирпичи и т.д.) при остывании с блокирующей температурой (“точки Кюри”) приобретают термоостаточную намагниченность, величина и направление которой прямо пропорциональны параметрам геомагнитного поля времени обжига. Такое явление возникает также при пожарах, воздействующих на грунт, глину или кирпичи зданий. Необходимо отметить, что объектами для археомагнитных исследований могут стать и образцы, сохранившие ориентационную намагниченность, возникшую в процессе осадконакопления в водной среде [1]. Высокая стабильность перечисленных намагниченностей во времени позволяет использовать их для археомагнитных датировок. При условии неизменности положения образца в пространстве можно определить все три параметра археомагнитного поля: D – склонение (угол между горизонтальной проекцией вектора термоостаточной намагниченности и географическим меридианом), J – наклонение (угол между вектором термоостаточной намагниченности и его горизонтальной проекцией), H – напряженность древнего геомагнитного поля. D и J определяют положение вектора термоостаточной намагниченности в пространстве, величина которого имеет определенную зависимость от H [2]. При наличии ряда образцов различного надежно определенного возраста, по каждому из которых найдены параметры геомагнитного поля D , J , можно построить кривые изменения этих же параметров во времени, т.е. построить так называемую кривую векового хода магнитного поля Земли в исторический период, что является прямой задачей археомагнитной датировки. Имея заранее построенную кривую векового хода нашего региона, можем определить возраст

археоманнитного образца путем сопоставления параметров термоостаточной намагниченности последнего с кривой векового хода – это обратная задача [3].

Как при решении прямой задачи, так и обратной очень важно выделить первичную термоостаточную намагниченность, т.к. при соответствующих измерениях имеем дело с вектором остаточной намагниченности (I_n), который является суммой нескольких векторов – первичной термоостаточной намагниченности (I_p) и различных вторичных намагниченностей. Вторичные намагниченности возникают в результате воздействия различных физико-химических факторов на ферромагнитные частицы – “носителей магнетизма”. Векторы вторичных намагниченностей по направлению не совпадают с вектором первичной термоостаточной намагниченности, что может привести к значительным отклонениям вектора (I_n) от направления (I_p).

Основными видами вторичных намагниченностей, с которыми обычно сталкиваются в процессе археоманнитных исследований, являются вязкая (I_v), химическая (I_c) и парциальная термоостаточная (I_{prt}) намагниченности [2, 4]. Для получения достоверных данных о величине и направлении вектора термоостаточной намагниченности необходимо определить, какие вторичные намагниченности присутствуют в изучаемом образце и принять меры по их очистке.

Магнитные чистки возможны благодаря тому, что различные виды намагниченностей имеют различную устойчивость к воздействию разрушающих ее факторов: температуры (метод Телье), времени, переменного или постоянного магнитного поля. Общее правило для всех видов чистки – продолжать ее до тех пор, пока изменения направления (I_n) не прекратятся или не станут сравнимы с ошибкой измерения.

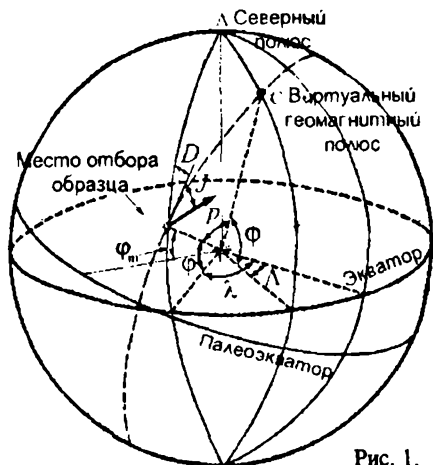


Рис. 1.

К сожалению, до настоящего времени у нас нет достаточного количества определений, по которым можно было бы построить кривые векового хода магнитного поля. Поэтому мы вынуждены прибегнуть к расчетному методу получения параметров геомагнитного поля для наших географических координат из данных соседних стран. Метод пересчета приводится ниже.

Из теории земного магнетизма [5] известно, что магнитное поле Земли в первом приближении

может быть представлено как поле магнитного диполя, ось которого наклонена к оси вращения Земли примерно на 11 градусов. На это поле наложено поле континентальных, региональных и локальных аномалий, а также поля, создаваемые вековыми и суточными вариациями.

Гипотеза о дипольности поля позволяет рассчитывать координаты магнитного полюса по параметрам D и J образца и по координатам – широте ϕ и долготе λ места его отбора. Геомагнитные координаты – широту Φ и

долготу Λ – палеополюса можно получить из следующих уравнений (см. рис. 1):

$$\sin \Phi = \sin \varphi \sin \varphi_m + \cos \varphi \cos \varphi_m \cos D, \quad (1)$$

$$\sin(\Lambda - \lambda) = \frac{\sin D \sin \rho}{\cos \Phi} = \frac{\sin D \cos \varphi_m}{\cos \Phi}, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{1}{2} \operatorname{tg} J. \quad (3)$$

Пусть $(\Lambda - \lambda) = \Psi$ – условие, определяющее значение Λ :

$$\Psi = (\Lambda - \lambda), \text{ если } \sin \varphi_m \geq \sin \varphi \sin \Phi,$$

$$\Psi = 180 - (\Lambda - \lambda), \text{ если } \sin \varphi_m < \sin \varphi \sin \Phi.$$

Имея координаты палеополюса, можем решить обратную задачу – получить из них параметры D и J в точке с заданной широтой φ и долготой λ :

$$\sin \varphi_m = \sin \Phi \sin \varphi + \cos \Phi \cos \varphi \cos(\Lambda - \lambda), \quad (4)$$

$$\sin D = \frac{\cos \Phi \sin(\Lambda - \lambda)}{\cos \varphi_m}, \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} J = 2 \operatorname{tg} \varphi_m. \quad (6)$$

Для перерасчета параметров геомагнитного поля в наших географических координатах мы использовали две базы данных археомагнитных определений [6, 7]. По каждому образцу были рассчитаны координаты палеополюса, а из них – значения параметров D и J для координат г. Еревана, заповедника Агарака, церкви Цицернаванка. В тех случаях, когда для образца в базе данных не было определений D , с использованием уравнения (6) вычислялось только значение $J = J_{base} \pm \Delta J(\Delta \varphi)$.

При построении кривых векового хода в основном использовались данные, приведенные С.П. Бурлацкой [8] и грузинскими исследователями [9]. Этот выбор продиктован близостью географических координат (разница в 2–3 градуса) и хорошим совпадением данных по Армянским образцам с данными кривых векового хода Грузии, полученными Бурлацкой. Использовались также данные, полученные из Азербайджана, Турции и Ирана. В результате были построены расчетные кривые векового хода для параметров D и J Армении (рис. 2, а, б) периода от начала нашей эры до 1870 года.

Так как вариации параметров геомагнитного поля D и J имеют определенную цикличность, то при сопоставлении полученных D и J по образцам с расчетными кривыми всегда существует вероятность неоднозначного определения возраста. Для однозначного определения возраста следует включать третью кривую – кривую напряженности древнего магнитного поля. Значения коэффициента $K = H_{опред} / H_{сов}$ можно получить методом Телье.

Более подробно методы определения напряженности древнего магнитного поля изложены в работах [4, 8]. Кривая коэффициента K (см. рис. 2, с) получена Бурлацкой С.П. по данным образцов из Грузии, Азербайджана, Армении, Франции и России [8].

Отбор и изготовление археомагнитных образцов – это первая и одна из наиболее важных операций, от которой во многом зависит точность опреде-

ления возраста. Рассмотрим подробнее процесс отбора. Как уже отмечалось выше, нам необходимо определить положение в пространстве и величину вектора термоостаточной намагниченности. Пространственное положение вектора термоостаточной намагниченности в практике палеомагнитных и археомагнитных исследований определяется двумя углами – D и J . Сами же углы определяются как функции от параметров силы взаимодействия магнитного поля образца с магниточувствительной системой прибора по осям X, Y, Z .

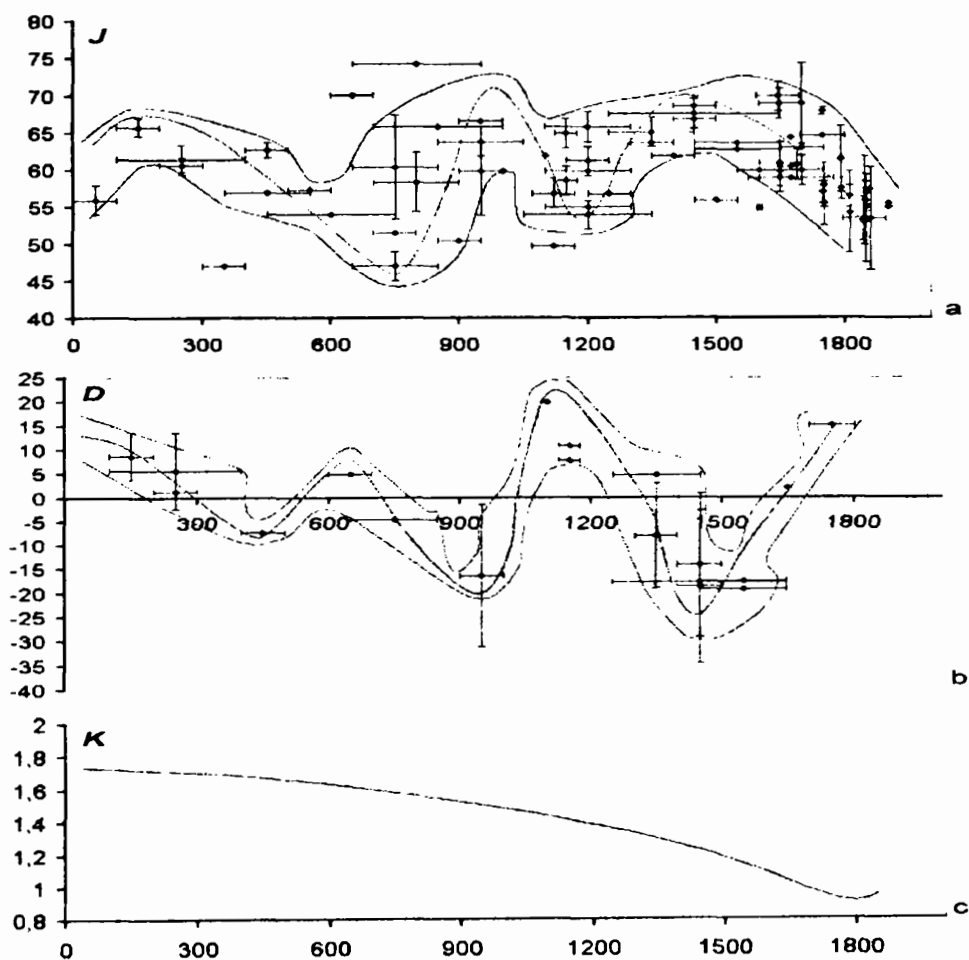


Рис. 2. Кривые вариаций параметров геомагнитного поля для координат церкви Цицернаванка.

При проведении наших работ мы располагали только астатическим магнитометром М-21, который для измерений необходимо обеспечить кубом с гранью 3,5–5 см.

Для определения параметров остаточной намагниченности следует изготовить образец кубической формы, ось X которого должна быть направлена на географический север, ось Y – на восток (правая система координат), а ось Z – вертикально. Такая методика изготовления кубика рекомендована во многих руководствах и монографиях по палеомагнетизму и

археомagnetизму, которая основана на расчетных формулах для углов D и J . Так, угол D получается между осью X кубика и проекцией вектора I_n на горизонтальную плоскость (плоскость XY кубика), J – угол между проекцией вектора термоостаточной намагниченности на горизонтальную плоскость и вектором термоостаточной намагниченности. А чтобы получить правильное значение и знак углов, ориентировка кубика должна строго соответствовать вышеописанной. Однако при работе на астатическом магнитометре мы столкнулись с проблемой получения образцов достаточно больших размеров для проведения надежных измерений, так как толщина стенок печей, по крайней мере тех, из которых мы имели возможность отобрать образцы, обычно равна 3–5 см. Как видно из рис. 3, если мы зададимся целью получить максимальный размер образца, то будем иметь только 4 точки, притом в случае, когда эта печь сохранилась по всей окружности. Но на практике мы часто имеем дело с объектами, которые сохранились в виде фрагментов, и отбор из них образцов для изготовления кубика достаточно большого размера становится невозможным. Это – если выполнять распиловку по принятой методике. Одно из возможных решений – ортогональное преобразование принятой системы координат в иную, опять же правую, обеспечивающую максимальные размеры граней кубика.

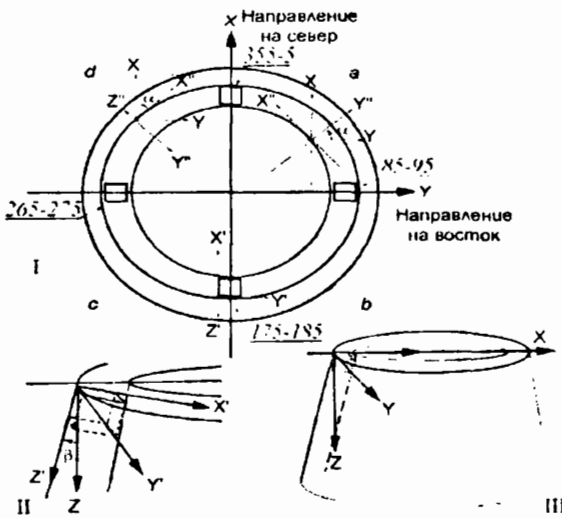


Рис. 3. К методике отбора образцов из печей: I – вид сверху, II – сектор 175–185, III – общий вид печи и ориентировка осей при обычном методе отбора образцов.

На рис. 3 также видно, что для секторов 355–5, 85–95, 175–185, 265–275 (ширина их зависит от размеров конкретной печи) достаточно выполнить один поворот с направлением оси Z' по стенке печи, а для a, b, c, d необходимо произвести два поворота: первый – по оси Z с направлением оси X' вдоль стенки печи, второй – так, чтобы ось Z' была направлена вдоль стенок печи. В секторах a, b α – угол между направлением на восток и азимутом падения, а в секторах c, d α – угол между направлением на восток и азимутом восстания, $\beta = 90^\circ$

– угол падения. Все указанные повороты можно описать соответствующими матрицами. Объем статьи обязывает из восьми возможных вариантов ограничиться двумя.

Для сектора 175–185 этот поворот и происходящее при этом преобразование координат описываются произведением следующих матриц:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}.$$

Для сектора α необходимо произвести два поворота:

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}.$$

Итак, установлена связь между традиционной системой ориентировки X, Y, Z и новой X', Y', Z' (при одном повороте) и X'', Y'', Z'' (при двойном). Несмотря на необходимость дополнительных вычислений, связанных с расчетом матриц, а также на необходимость иметь азимут падения для каждого выпиливаемого кубика (для вычисления угла α), приведенные преобразования позволяют получить максимально большие размеры образцов при изготовлении кубика на два среза меньше, что в случае плохой сохранности керамики очень важно. Отметим, что криволинейностью стенок кубика размерами 5 см при диаметре средней печи 60 см можно пренебречь.

Датировка археомагнитных образцов из печей. Нами были взяты образцы из печей, обнаруженных при раскопках у церкви Цицернаванка (Бердзорский (Лачинский) район) и в археологическом заповеднике "Агарак".

Таблица 1

Номер печи, штупфа, кубика	Склонение в градусах, D	Наклонение в градусах, J	Намагниченность, I_n , А/м	Магнитная восприимчивость, χ , ед. СИ	Склонение суммарного вектора, D_s	Наклонение суммарного вектора, J_s	Радиус круга доверия, α
I группа							
VI-1-1	21.80	62,37	90073.02		24.09	60.51	9.39
VI-1-2	26.13	58,62	97336.90				
II группа							
I-1	-11.31	46.22	245874.10	0.03	-18.75	56.32	3.54
III-1	-23.57	61.06	2378.12	0.04			
III-2	-23.78	60.07	2617.49				
III-3	-10.20	57.74	763.72				
III-4	-12.99	59.96	2578.22				
V-1-1	-35.34	53.46	803.44				
V-1-2	-31.73	56.67	20597.51	0.43			
V-2-1	-41.04	47.96	76774.82	1.51			
VII-1-1	-21.80	57.40	14197.85				
VII-1-2	-10.08	50.27	14197.85				
VII-1-3	-5.81	48.49	2614.96				
VII-1-4	-16.98	59.00	196407.30				
VII-1-5	-20.60	57.02	32266.27				
VII-2-1	-17.59	58.06	8637.28	0.76			
VIII-2-2	-12.94	56.75	29655.63				
VIII-1-1	6.44	55.86	21029.36	2.22			
VIII-1-2	-21.19	65.81	27996.60	0.30			
X-1-1	-27.25	52.53	148903.80	0.37			

В табл. 1 приведены данные образцов (всего 20 из 8 печей), взятых с территории церкви Цицернаванка (широта 39.74, долгота 46.48). По археологическим данным, печи были разделены на две возрастные группы: в первую входят I и III печи, во вторую – все остальные. По нашим данным,

также имеются две возрастные группы: в первой – VI печь, во второй – все остальные. VI печь датируется 1075 ± 50 , все остальные – 880 ± 50 годом нашей эры.

Таблица 2

Номер печи, кубика	Склонение в градусах, D	Наклонение в градусах, J	Склонение суммарного вектора, D_r	Наклонение суммарного вектора, J_r	Радиус круга доверия, α
VI-1	29.70	55.80	25.00	56.66	4.44
VI-2	25.00	56.00			
VI-4	20.00	58.01			

В табл. 2 приведены данные трех образцов из печи Агаракского заповедника (широта 40.28, долгота 44.26), которые датируются 1025 ± 50 г.н.э.

Проведенная археомангнитным методом датировка хорошо согласуется с археологическими данными.

В заключение отметим, что для широкого внедрения археомангнитного метода датировки в практику археологических исследований в Армении необходимо пополнять коллекции образцов с целью расширения возрастного диапазона кривых векового хода и повышения точности определения возраста.

Кафедра геофизических методов поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

Поступила 14.09.2002

ЛИТЕРАТУРА

1. Hueda T.Y., Soler A.M., Urrutia F.J. – *Archaeometry*, 1998, v.2, №1, p.102–108.
2. Nagata T. Магнетизм горных пород. М., 1965, 320 с.
3. Clark A.J., Tarling D.H., Noel M.E. – *J. Arch. Sci.*, 1988, №15, p.25–54.
4. Храмов А.Н., Шолпо Л.Е. Палеомагнетизм. Л.: изд-во Недр, 1967, 251 с.
5. Археомангнитные определения элементов геомагнитного поля. Материалы мирового центра данных, Б., М., 1986.
6. Tarling D.H. Plymouth Archaeomagnetic Directional Database. 1999.
7. http://ftp.ngdc.noaa.gov/Solid_Earth/Paleomag/access/ver3.5/access97/.
8. Бурлацкая С.П. Археомангнетизм. Исследования магнитного поля Земли в прошлые эпохи. М.: Наука, 1965, 107 с.
9. Нодия М.З., Апакидзе А.М., Челидзе З.А. – *Собщ. АН Груз.ССР*, 1970, ч. 58, № 3, с. 565–568.

Գ.Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Ա.Գ. ԲԱՐՍԵՂՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀՆԱԳԻՏԱԿԱՆ ՕՐՅԵԿՏՆԵՐԻ ՀՆԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ
ՏԱՐԵԳՐՈՒՄԸ

Ամփոփում

Հողվածում համառոտ բերված են հնամագնիսական տարեգրման մեթոդի սկզբունքները: Ներկայացված են երկրամագնիսական դաշտի պարամետրերի փոփոխման դարավոր ընթացքի կորերը՝ ստացված վերահաշ-

վարկման ճանապարհով, հիմնված երկրամագնիսական դաշտի դիպոլային հիպոթեզի վրա: Այդ կորերի կառուցման համար օգտագործվել են հնամագնիսական ուսումնասիրությունների տվյալներ՝ ստացված հարևան երկրներում: Առաջարկվել է հնամագնիսական նմուշներ վերցնելու նոր մեթոդիկա: Կատարվել է հնագիտական օբյեկտների հնամագնիսական տարեգրում:

G.V. MARKOSYAN, A.G. BARSEGHYAN

ARCHAEO-MAGNETIC DATING OF ARCHAEOLOGICAL SITES OF ARMENIA

Summary

The article gives a brief review of principles of archaeomagnetic dating method. Presented curves of secular variations of geomagnetic field parameters in a historical period of time for the territory of Armenia, obtained by recalculation from data were collected on the territory of Georgia and neighboring countries on the hypothesis dipole of Earth's magnetic field. A new method of sample splitting from ovens and hearths is presented. Archaeomagnetic dating of archaeological sites of Armenia is done.