

УДК. 550.383.32

ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ИСПАНИИ В ПОСЛЕДНЕЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЕ

© 2015 г. И. Е. Начасова, К. С. Бураков, О. В. Пилипенко, Г. П. Марков

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

E-mail: inachasova@mail.ru

Поступила в редакцию 19.05.2014 г.

В результате археомагнитных исследований, проведенных на коллекции образцов эмалированной керамики из испанского археологического памятника Альбаррасин, датированных X–XX веками нашей эры, получена картина изменения напряженности геомагнитного поля на этом временном интервале. Основной тенденцией изменения напряженности поля является падение напряженности в пределах ~80–40 мкТл, при этом наиболее яркой особенностью изменения напряженности является ее вариация с характерным временем в несколько столетий. Исследование материала из этой коллекции с помощью метода регидроксилации позволило получить данные о температуре в этом районе Испании во временном интервале изготовления керамики. Основная тенденция в изменении температуры на всем рассматриваемом временном интервале – увеличение, а в изменении напряженности геомагнитного поля – уменьшение. Построенные кривые изменения во времени напряженности главного геомагнитного поля и температуры обнаруживают вариации с близкими характерными временами, сдвинутые во времени относительно друг друга (изменение температуры несколько опережает изменение напряженности геомагнитного поля). Для повышения точности и детальности получаемой картины изменения геомагнитного поля в прошлом продолжена разработка метода археомагнитного датирования материалов археологических памятников. Проведенное тестирование этого метода на примере датирования печи из памятника Эль Молон (Испания) с использованием кривой движения геомагнитного полюса, построенной по восточно-европейским данным о геомагнитном поле в прошлом, показало перспективность его применения для датирования археологических объектов на территории всей Европы.

DOI: 10.7868/S0002333715040080

ВВЕДЕНИЕ

Главное геомагнитное поле – одно из основных физических полей Земли. Исследование вариаций геомагнитного поля в прошлом имеет огромное значение для разработки представлений о генерации главного геомагнитного поля, а, следовательно, о законах существования и эволюции планеты Земля. Для получения картины вариаций геомагнитного поля с хорошим приближением к истинной необходимо не только получить данные об элементах поля с высокой точностью, но и иметь возможно более точную временную привязку этих данных. В связи с этим повышение достоверности и точности датировки исследуемых материалов имеет большое значение. Проблема датирования материалов археологических памятников имеет первостепенное значение не только для археомагнитологов, но также и для археологов, исследующих развитие человеческих культур на Земле, поэтому любая возможность получения независимой информации о возрасте исследуемого материала весьма ценна. В

связи с этим вопросу расширения возможностей получения информации о датировке материалов археологических памятников все время уделяется пристальное внимание. Ранее были разработаны и успешно применены методы оценки возраста по пористости исследуемого керамического материала [Бураков и др., 2005; Начасова, Бураков, 2009; Начасова и др., 2002; 2007], археомагнитного датирования [Начасова, Бураков, 2009], регидроксилации [Бураков, Начасова, 2013] (предложенного М. Вильсон [Wilson et al., 2009]).

В данной работе для получения независимых датировок материалов испанских памятников применен метод археомагнитного датирования (для материала памятника Эль-Молон) и метод датирования по пористости материала (для памятника Альбаррасин). Керамический материал памятника Альбаррасин был исследован с целью получения данных об изменении напряженности геомагнитного поля и температуры окружающей среды во временном интервале с конца I тыс. н.э. по современность.

ДАТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АРХЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Археомagnetное датирование

Метод археомagnetного датирования состоит в сопоставлении данных о параметрах древнего геомagnetного поля, полученных в результате исследования термоостаточной намагниченности (TRM) исследуемого материала с опорной кривой изменения элементов геомagnetного поля на временном отрезке, к которому относится существование археологического памятника или отдельного этапа его функционирования. Такое датирование можно проводить, имея данные только одного элемента геомagnetного поля, однако, так как вариации геомagnetного поля имеют квазипериодический характер, достоверность оценки возраста материала существенно увеличивается, если имеется возможность получить определения всех трех элементов — напряженности поля и его угловых элементов (склонения и наклонения поля). Это возможно только для материала, не изменившего свое положение в пространстве с момента последнего обжига (материалы печей, обожженных площадок). Датировка именно таких объектов часто содержит неопределенность, что делает применение археомagnetного датирования весьма актуальным. Сложность такого рода датирования часто заключается в недостаточной представительности опорных данных. Этот недостаток можно преодолеть, используя обобщенные для региона данные об изменении элементов геомagnetного поля. Для тестирования метода археомagnetного датирования было проведено датирование материала печи из памятника Эль Молон, расположенного на границе провинции Валенсия и Куэнка, датированного археологически. В качестве опорных кривых были использованы кривые изменения угловых элементов геомagnetного поля, построенные для регионов Восточной Европы и Франции. Эталонные кривые вариаций склонения и наклонения в Эль Молон были рассчитаны по приведенным в [Бураков, Начасова, 2011] табличным данным о смещении геомagnetного полюса с 500 по 1500 гг. по данным об угловых элементах геомagnetного поля в Восточной Европе. Для каждой точки наблюдения были вычислены координаты виртуального геомagnetного полюса центрального диполя. Полученные таким образом данные о геомagnetном полюсе сглаживались 25-летним окном осреднения с шагом 25 лет. По этим осредненным данным затем были вычислены значения склонения и наклонения геомagnetного поля для построения опорных для региона кривых изменения этих элементов.

Эти данные получены по восточно-европейским археомagnetным определениям, по терри-

тории, достаточно удаленной от Испании. Поэтому для сравнения были построены эталонные кривые изменения склонения и наклонения геомagnetного поля для Эль Молон также и по французским данным. Полученные кривые вариаций в данном временном интервале оказались достаточно близкими, поэтому для повышения точности представления кривых вариаций были взяты средние значения склонения и наклонения. Эти кривые представлены на рис. 1.

Для получения данных об элементах геомagnetного поля времени последнего обжига в печи, намагниченность материала которой исследовалась, из штуфа Мо-833 были изготовлены два ориентированных кубических образца. После температурной чистки остаточной намагниченности образцов при 130°C измерено ее направление с поправкой на анизотропию магнитной восприимчивости, и вычислены средние значения склонения $D = 13.1^\circ$ и наклонения $I = 61.6^\circ$ (доверительный интервал $\alpha_{95} = 0.9^\circ$).

Археологическая датировка завершающего этапа функционирования печи, материал которой исследовался, весьма точна — 890 ± 10 гг. н.э., хотя остальной материал памятника Эль Молон датируется чаще всего в пределах двухсот лет, что, по видимому, позволяет расширить пределы датировки. Полученная по результатам исследования намагниченности материала с помощью метода Телье напряженность древнего геомagnetного поля времени последнего обжига — 77.8 ± 2.5 мкТл.

Рассмотрение картины изменения склонения и наклонения геомagnetного поля приводит к выводу о том, что искомым временным отрезком — это X век н.э., так как полученные по исследованному материалу значения склонения имеют место во временном интервале X—XIV вв., а значения наклонения — в VI—X вв. н.э.

В то же время картина изменения напряженности геомagnetного поля, построенная по данным, полученным по материалам испанских памятников Эль Молон, Малага и Мурсия [Начасова и др., 2007], свидетельствует о том, что во временном интервале VII—X вв. н.э. напряженность поля сначала росла, а затем с X в. н.э. начала падать. Максимум этого изменения приходится на IX—X вв. н.э. Среднее значение напряженности поля по данным, полученным по материалу с датировкой 825 ± 75 гг. н.э., — 62.0 ± 3.6 мкТл (5 определений), по материалу с датировкой 900 ± 100 гг. н.э. — 66.6 ± 2.9 мкТл (8 определений), причем по материалу, датированному последним временным интервалом, получены два значения, превышающие 75 мкТл. Данные, полученные в результате исследования намагниченности материала французских памятников хорошо согласуются с данными, полученными по материалам памятников Испании. Определения, полученные и по фран-

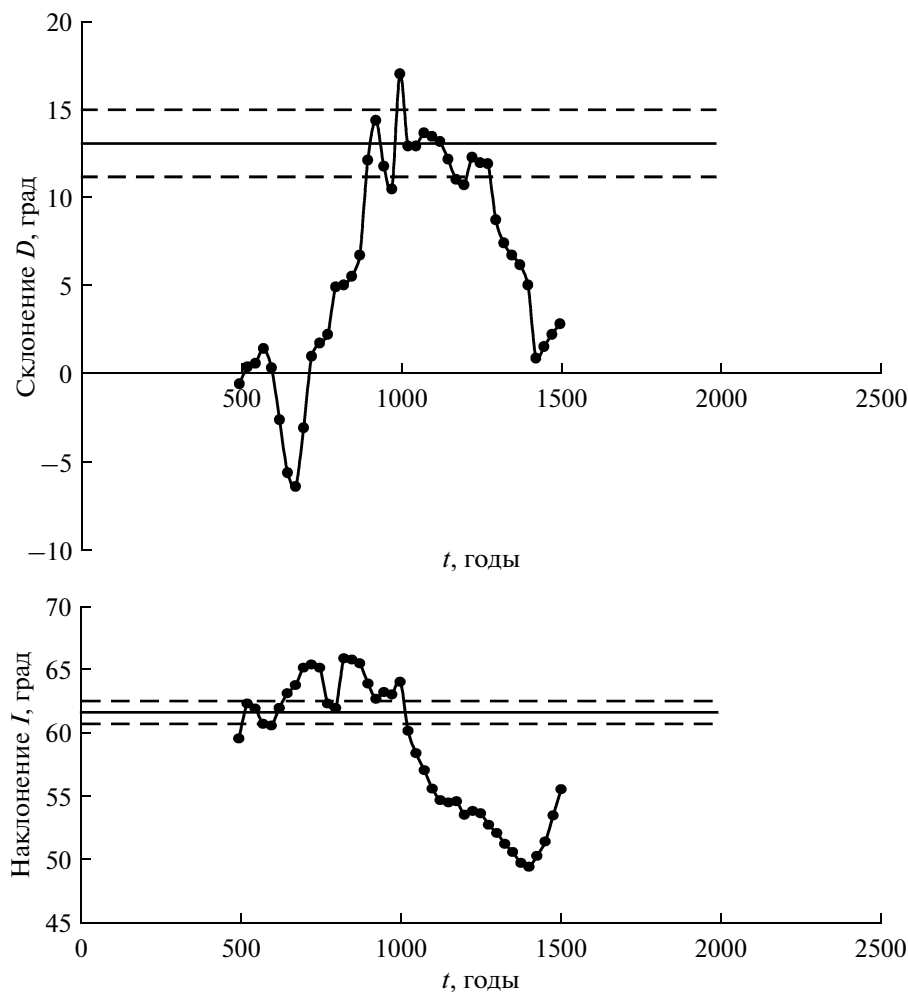


Рис. 1. Средне-25-летние вариации склонения и наклонения геомагнитного поля в Эль Молон. Сплошными прямыми линиями показаны результаты определения склонения и наклонения геомагнитного поля по намагниченности образца Мо-833, пунктирные прямые показывают доверительный интервал определений.

цузским, и по испанским материалам, имеющим датировку, ограниченную IX–X вв. н.э., свидетельствуют о том, что напряженность поля в этом временном интервале изменяется быстро в широких пределах и достигает максимальных для временного интервала IV–XIV вв. н.э. значений. Данные о напряженности геомагнитного поля в Испании, полученные в настоящей работе по результатам исследования материалов испанского памятника Альбаррасин, также свидетельствуют о падении напряженности поля, начиная с X в. н.э. по современность. Совокупность полученных данных о напряженности геомагнитного поля позволяет сделать вывод о том, что финальный этап функционирования печи можно отнести к концу IX–началу X вв. н.э., т.е. к временному интервалу, в котором напряженность поля достигает максимальных значений.

Таким образом, проведенное исследование показало, что археомагнитное датирование дает не-

зависимую временную привязку археологических объектов, что весьма ценно и позволяет повысить уверенность в близости к истине как картины изменения параметров магнитного поля Земли, так и развития культур человечества во времени и пространстве.

Датирование керамического материала по его пористости

Для получения независимой оценки временной привязки исследуемого материала археологических памятников также может быть применен метод датирования по пористости. Метод датирования керамики по ее пористости был разработан в процессе исследования керамического материала многослойного археологического испанского памятника “Cendres Cave” [Начасова и др., 2002]. В дальнейшем он успешно применялся при исследовании материалов других памятников Пиренейского полу-

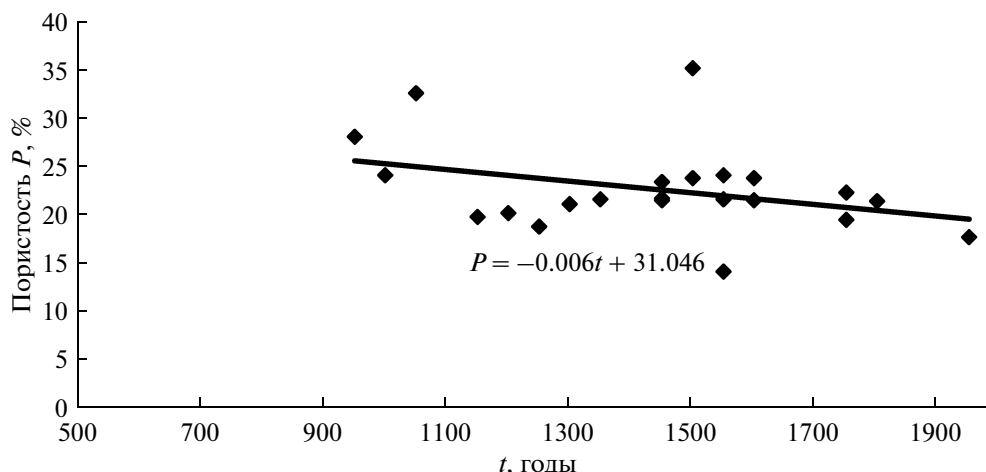


Рис. 2. Зависимость пористости керамики P от времени ее производства t для материала памятника Альбаррасин.

острова [Бураков и др., 2005; Начасова, Бураков, 2009; Начасова и др., 2007]. В основе метода лежит увеличение пористости керамики со временем.

Этот метод был применен и при исследовании коллекции образцов эмалированной керамики археологического памятника Альбаррасин, датированной X–XX вв. н.э. Археологическая датировка этого керамического материала в пределах 100–200 лет. На рис. 2 показана зависимость пористости керамики P от времени ее производства t , полученная по материалу памятника Альбаррасин. Исходная величина пористости соответствует моменту времени, когда керамическая посуда уже вышла из употребления, а не тому времени, когда она была только что изготовлена, поскольку во время использования посуды возможны тепловые и другие воздействия, что влияет на процесс разрушения керамики. В связи с этим величина пористости может существенно различаться в различных образцах, что ограничивает точность определения возраста керамики по ее пористости. Исследование пористости керамики из памятника Альбаррасин показало, что скорость изменения пористости составляет 0.006% в год. Эта величина близка к значению, полученному по материалу из Испании и Франции (0.0062%), датированному нашей эрой [Начасова и др., 2007], что является свидетельством правильности датировки керамики из памятника Альбаррасин временным отрезком нашей эры. Таким образом, было получено независимое подтверждение археологического определения временного интервала, к которому относится время обжига исследуемой керамики.

АРХЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью получения данных об изменении напряженности геомагнитного поля с конца I тыс. н.э. по современность было проведено исследование образцов эмалированной керамики археологи-

ческого памятника Испании Альбаррасин ($\lambda \sim 1^\circ \text{W}$, $\varphi \sim 40^\circ \text{N}$), датированных X–XX вв. н.э. Материал для исследований был предоставлен археологом-исследователем памятника Martín Almagro-Gorbea.

Для определения напряженности древнего геомагнитного поля применялся модифицированный метод Телье [Бураков и др., 2005] (с коррекцией на анизотропию магнитной восприимчивости и на химические изменения ферромагнитной фракции образцов при лабораторных нагревах). Исследуемая керамика была изготовлена из тонкодисперсных каолиновых глин с небольшой примесью ферромагнитных частиц, в которых преобладает мелкозернистая фракция с низкими блокирующими температурами. Медианная температура создания полной TRM для всех образцов лежит в пределах от 200 до 350°C. Для таких образцов характерна потеря части первичной намагниченности в низкотемпературной области вследствие как низкой коэрцитивности ферромагнитной фракции, так и процессов выветривания, в результате которых очень мелкие зерна магнетита необратимо превращаются в гидроокислы. Потеря части первичной намагниченности в низкотемпературной области приводит к занижению величины напряженности древнего геомагнитного поля при определении ее на этом температурном интервале. В подобных случаях низкотемпературный интервал не использовался для определения напряженности намагничивающего поля. Результаты исследования приведены в таблице.

Рассмотрение совокупности определений, полученных в данном исследовании и ранее в результате исследования намагниченности материалов ряда испанских и французских археологических памятников [Начасова и др., 2007], датированных последними двумя тысячелетиями, показало, что в течение первого тысячелетия нашей эры напряжен-

Результаты определения пористости P , напряженности древнего геомагнитного поля B и средней температуры T по керамике из памятника Альбаррасин

№ образца	Археологическая дата образца, гг.	Пористость P , %	Напряженность геомагнитного поля B , мкТл	Температура T , °С
1	950 ± 50	27.8	62.2 ± 3.5	24.6
2	1000 ± 100	23.8	46.8 ± 0.8	21.0
3	1050 ± 50	32.3	57.1 ± 0.7	25.4
4	1150 ± 50	19.5	51.0 ± 0.5	21.5
5	1200 ± 100	19.9	49.0 ± 0.6	16.1
6	1250 ± 50	18.5	50.0 ± 1.1	31.8
7	1300 ± 100	20.8	48.3 ± 1.7	25.8
8	1350 ± 50	21.3	44.6 ± 0.5	23.0
9	1450 ± 50	21.4	57.1 ± 2.4	29.5
10	1450 ± 50	21.2	48.3 ± 2.0	25.7
11	1450 ± 50	23.1	47.5 ± 1.1	31.4
12	1500 ± 100	34.9	52.5 ± 0.3	44.5
13	1500 ± 100	23.5	59.2 ± 1.8	29.0
14	1550 ± 50	21.3	48.9 ± 3.0	29.1
15	1550 ± 50	13.8	51.1 ± 0.6	15.8
16	1550 ± 50	23.8	59.8 ± 2.9	39.7
17	1600 ± 100	23.5	51.9 ± 1.6	29.5
18	1600 ± 100	21.2	60.4 ± 2.6	31.8
19	1750 ± 50	19.2	49.0 ± 2.8	20.7
20	1750 ± 50	22.0	41.0 ± 0.6	27.4
21	1800 ± 100	21.1	51.4 ± 1.7	27.8
22	1950 ± 50	17.4	38.7 ± 1.0	

ность геомагнитного поля (средне-75-летние значения) варьирует от ~60 мкТл в первой половине тысячелетия до ~40 мкТл в третьей четверти тысячелетия, затем повышается до наивысших значений в X в. н.э. Характерное время вариации напряженности геомагнитного поля примерно 500 лет, при этом средний уровень напряженности несколько превышает 50 мкТл.

Впервые подобную вариацию обнаружила Т.Б. Нечаева в результате исследований, проведенных на материалах археологических памятников Украины [Нечаева, 1979], относящихся к последним двум тысячелетиям. Было показано существование в изменении наклона и напряженности геомагнитного поля колебаний с периодами 350, 550 и 8000 лет. Исследования, проведенные на материалах памятников на этой же территории Г.Ф. Загнием [Загний, 1981], охватывающих последние пять с половиной тысячелетий, показали наличие вариации, характерное время которых, можно определить в пределах 500–600 лет. Анализ мировых данных о напряженности геомагнитного поля в прошлом показал, что вариации элементов геомаг-

нитного поля в основном могут быть представлены суперпозицией ряда гармоник с периодами от 300 до 8000 лет (без учета “короткопериодных” колебаний в диапазоне 10–200 лет) [Начасова, 1998], причем периоды выделяемых колебаний несколько разнятся в зависимости от региона и временного интервала, для которых получены анализируемые ряды данных. Для обозначения колебания часто употребляются названия вариаций (пятисотлетняя, тысячелетняя и т.д.). Пятисотлетние вариации были выделены в результате Фурье-анализа данных за последние два тысячелетия в районах Болгарии, Грузии, Средней Азии и Японии. Вейвлет-анализ рядов данных о напряженности геомагнитного поля в последние четыре тысячелетия в Болгарии, Грузии и Средней Азии [Начасова, 1998] показал, что выделяются колебания с периодами 500, 700 и 1750 лет.

На рис. 3 приведены данные о напряженности геомагнитного поля, полученные в результате исследования керамического материала, датированного VIII–X вв. н.э., из Испании и Франции (пересчитанные на широту Испании для учета из-

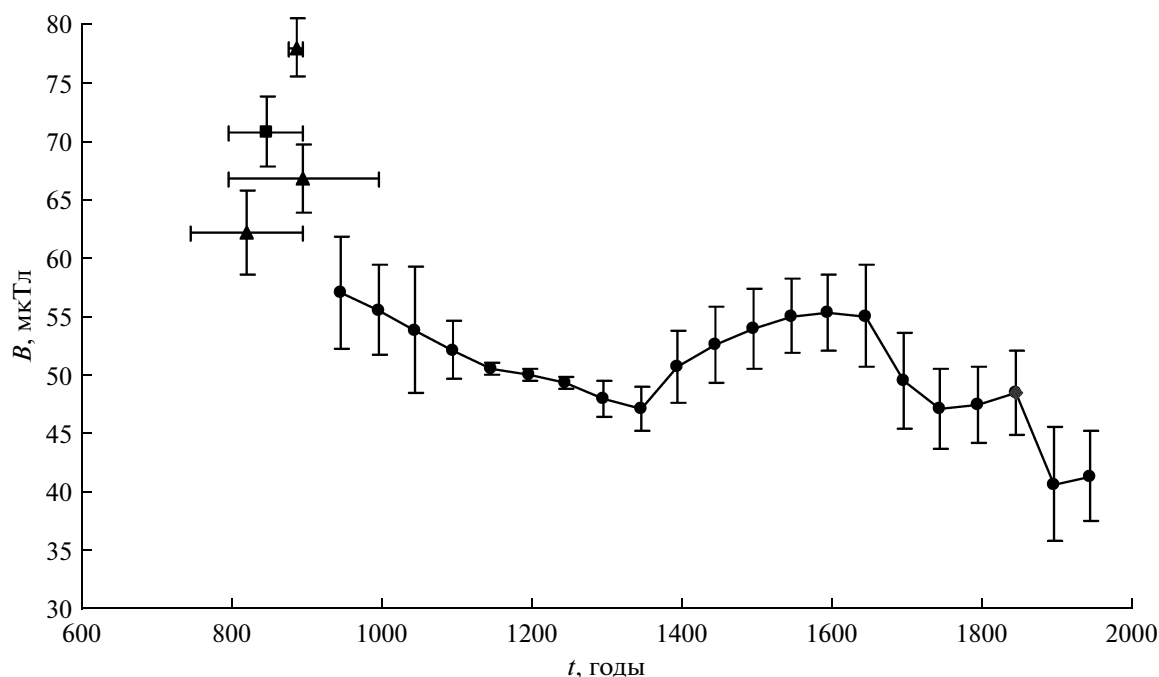


Рис. 3. Данные о напряженности геомагнитного поля, полученные в результате исследования керамического материала, датированного VIII–X вв. н.э., из Франции (квадрат), Испании (треугольники), и средне-75-летняя кривая изменения напряженности геомагнитного поля в Испании, построенная по результатам исследования керамического материала памятника Альбаррасин. Вертикальными линиями показаны среднеквадратичные погрешности определений.

менения напряженности геомагнитного поля с широтой для представления общей картины изменения напряженности поля), и средне-75-летняя кривая изменения напряженности геомагнитного поля в Испании, построенная по результатам исследования керамического материала памятника Альбаррасин. Осреднение произведено с учетом точности датирования материала, т.е. при осреднении учитывается коэффициент, пропорциональный величине временного отрезка, который приходится на интервал осреднения.

Общая тенденция изменения напряженности геомагнитного поля в Испании с конца I тыс. по XX в. н.э. — падение напряженности поля от ~80 до ~40 мкТл. В конце I тыс. н.э. происходит резкое падение напряженности поля примерно на 10 мкТл, затем падение замедляется, а с XIV века начинается рост напряженности поля, продолжающийся по XVII век в пределах примерно 47–55 мкТл. Ошибка определения среднего значения напряженности геомагнитного поля, оцененная по разбросу единичных определений по материалу, имеющему одинаковую датировку, в среднем составляет около 4 мкТл. Разброс данных лежит в пределах 0.8–10.9 мкТл, наиболее часто встречающиеся значения 7–8 мкТл. Среднее значение разброса несколько увеличивается на более позднем временном интервале — от 6.4 мкТл в XV в. до 8–8.5 мкТл в XVII–XVIII вв. В первой половине тыся-

челетия напряженность поля изменяется существенно медленнее, чем во второй. На временных отрезках вторая половина XVII–первая половина XVIII в. и вторая половина XIX в. происходит быстрое падение напряженности геомагнитного поля. Судя по всему, именно этим и объясняется увеличение разброса получаемых данных, начиная с XVII в., т.е. разброс определений в основном отражает изменение напряженности геомагнитного поля на временном интервале, к которому относится момент обжига керамики.

Резкое уменьшение напряженности поля в X в., сменяется значительно более плавным падением. В XIV в. начинается повышение напряженности поля, являющееся проявлением вариаций. Вариации, характерные для изменения напряженности поля с XIV по XX в., в предшествующий временной интервал не прослеживаются.

Рассмотрение данных об изменении напряженности геомагнитного поля, полученных для последнего тысячелетия по материалам археологических памятников других территорий Евразии [Начасова, 1998] показало, что для этого временного интервала по данным, полученным для Грузии и Средней Азии, прослеживается как основная тенденция падение напряженности геомагнитного поля, на которое накладывается колебание в 2–3 столетия. Сравнение построенной по испанским данным кривой изменения напряженности гео-

магнитного поля с кривой, построенной по результатам, полученным для последних 800 лет в работе [Genevey и др., 2009] для Парижа, показало, что общий ход кривых похож. Практически полная сходимость этих кривых наблюдается для второй половины II тыс. н.э., но в предыдущие 300 лет имеется некоторое расхождение. На этом временном отрезке по французским данным прослеживается вариация с характерным временем примерно 300 лет, максимум которой приходится на середину — вторую половину XIV в.

Отсутствие вариации напряженности геомагнитного поля на временном интервале XI—XIV вв. по данным, полученным по материалу Альбаррасина, скорее всего связано с небольшим количеством полученных для этого временного отрезка данных и с довольно широкой (± 50 и ± 100 лет) датировкой исследованного материала, что приводит к сглаживанию конечных результатов. Очевидно, что для обнаружения вариаций с характерным временем в первые столетия необходимо увеличивать количество определений для района памятника Альбаррасин и уточнять датировку исследуемого материала.

Вид изменения напряженности геомагнитного поля с XIII по XX в. нашей эры говорит о наличии вариации с характерным временем в несколько столетий, с минимумом в XIV в. и максимумом в XVII в. Для определения периода этих вариаций необходимо получить более представительные данные для первой половины последнего тысячелетия.

Таким образом, полученная картина изменения напряженности геомагнитного поля в Испании по материалам археологических памятников Альбаррасин (с X по XX в.) и Эль Молон (IX—X в.) позволила заключить, что основной тенденцией изменения напряженности поля в рассматриваемый временной интервал является падение напряженности с рубежа IX—X вв. н.э. по современность, напряженность поля изменяется в пределах ~ 80 — 40 мкТл, наиболее яркой особенностью этого изменения является вариация с характерным временем в несколько столетий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ИСПАНИИ В РАЙОНЕ ПРОВИНЦИИ КУЭНКА

Ранее многими исследователями была обнаружена корреляция характеристик климатических процессов, скорости вращения Земли и вариаций геомагнитного поля [Начасова, 1998]. К сожалению, ряды количественных данных о температуре имеют весьма ограниченную продолжительность (около 200 лет). Возможность увеличения продолжительности рядов данных появилась в связи с разработкой метода регидроксилации для датирования

обожженного материала археологических памятников, предложенного М. Вильсон [Wilson et al., 2009]. Физической основой этого метода является то, что при обжиге кристаллы глинистых минералов обезвоживаются, а после охлаждения вода из окружающей среды соединяется с ними, т.е. происходит регидроксилация. При этом за счет накопления воды вес керамики медленно увеличивается за время ее существования. Скорость накопления такой воды зависит от температуры. Исследование процессов, происходящих со временем в обожженном материале, позволяет получить информацию о продолжительности временного интервала после обжига, т.е. установить время обжига (датировать исследуемый материал).

Исследования, проведенные на образцах из Великобритании, Испании и Причерноморья [Бураков, Начасова, 2013], показали перспективность применения метода регидроксилации для датирования керамического материала. В то же время проведенные исследования показали, что на процесс регидроксилации могут влиять другие процессы, протекающие в обожженном материале, а также факторы, связанные с характером окружающей среды. Например, процесс превращения гидроокислов железа в магнетит с выделением воды искажает картину накопления воды. Важным фактором в процессе регидроксилации является температура окружающей среды. Это дает возможность при исследовании датированного керамического материала получить информацию о температуре в районе археологического памятника в прошлом. Из-за нелинейности накопления воды в образце основная масса химически связанной воды накапливается на первом этапе после обжига, поэтому полученное значение температуры относится именно к этому этапу.

Первый опыт проведения исследования с целью получения информации об изменении температуры с течением времени в районе многослойного археологического памятника был принят при исследовании материала периода бронзы испанского многослойного археологического памятника Баеса [Начасова, Бураков, 2012]. Были получены данные на временном интервале XIX—XIII вв. до н.э. Ход температуры можно описать как колебание с характерным временем в несколько столетий с максимумом в районе первой половины XVI в. до н.э. Максимум плавного изменения напряженности геомагнитного поля в этом районе Испании приходится на XV в. до н.э., т.е. кривая изменения напряженности геомагнитного поля сдвинута относительно изменения температуры окружающей среды в сторону запаздывания.

В настоящей работе с целью определения древней температуры окружающей среды с помощью метода регидроксилации были проведены

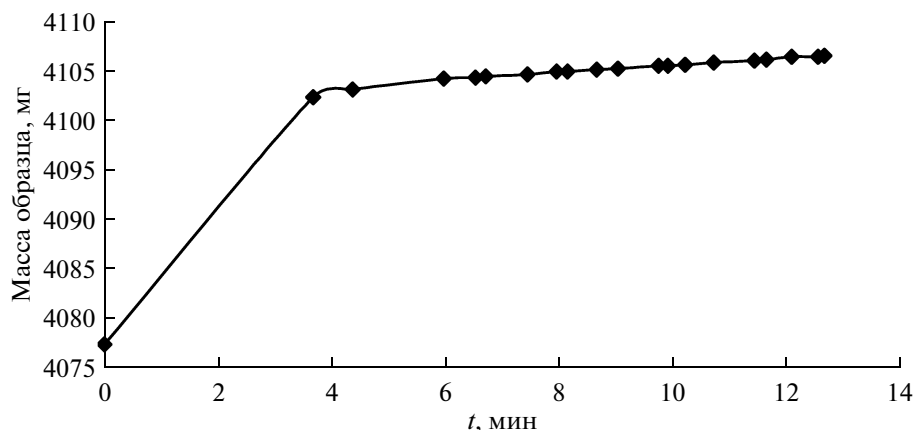


Рис. 4. Изменение массы образца № 8 со временем в процессе выдержки его при температуре $26 \pm 0.1^\circ\text{C}$.

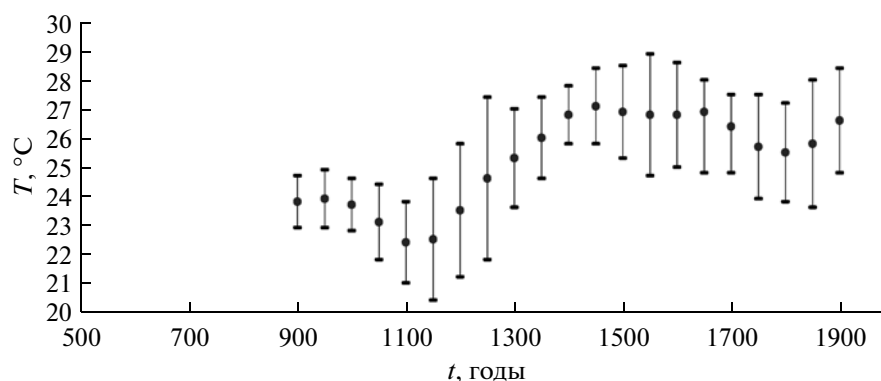


Рис. 5. Изменение температуры окружающей среды в районе памятника Альбаррасин. Вертикальными линиями показаны среднеквадратичные погрешности средних значений температуры для интервала осреднения в 75 лет.

исследования керамического материала памятника Альбаррасин. Эксперимент и расчеты проводились по методике и формулам, описанным в работах [Бураков, Начасова, 2013; Начасова, Бураков, 2012]. Увеличение веса образца в процессе регидроксилации при постоянной температуре и влажности происходит в две стадии. Вначале заполняются водой капилляры, этот процесс происходит достаточно быстро и завершается через 10–300 мин [Tosheva et al., 2010]. После этого процесс увеличения веса образца описывается линейной функцией от времени (рис. 4), для коллекции образцов из памятника Альбаррасин — во временном интервале от 20 ч до 18 дней. Полученные данные о температуре приведены в таблице. В одном случае (по образцу 22) было получено резко завышенное значение температуры, что свидетельствует о существовании возмущающих факторов, которые приводят к резким искажениям получаемых результатов. Результат исследования этого образца отбракован. Причина такого искажения не ясна. Предположение об ошибке в датировке сомнительно, т.к. значение напряженности поля, по-

лученное по этому образцу (38.7 ± 1.0 мкТл) близко к полученному по прямым наблюдениям в 60-е годы XX столетия (~ 43 мкТл) для этого района.

Расхождения единичных (по одному образцу) определений температуры, полученных по материалу с одинаковой датировкой, могут составлять $10\text{--}15^\circ\text{C}$, что может быть связано с неопределенностью датировки. Нужно отметить, что и определения напряженности геомагнитного поля, полученные по этому материалу, в ряде случаев указывают на возможность заметной разновременности материала. На рис. 5 показаны средне-75-летние значения температуры. Осреднение проведено так же, как и осреднение значений напряженности геомагнитного поля. Пределы изменения температуры примерно $22\text{--}27^\circ\text{C}$. Минимальные значения температуры приходятся на XII век, максимальные — на XV–XVI в., средний уровень температуры в конце I тыс. н.э. ниже, чем во второй половине II тыс. н.э., т.е. средний уровень температуры в рассматриваемый временной интервал повышался. Плавное изменение температуры можно аппроксимировать колебанием с характерным временем

в несколько столетий и экстремумами в XII и XV–XVI вв. н.э.

Таким образом, основная тенденция в изменении температуры на всем рассматриваемом временном интервале — повышение, а в изменении напряженности геомагнитного поля — уменьшение. Минимум и максимум вариации напряженности поля отстоят друг от друга примерно на 300 лет, так же как и в изменении температуры. Моменты экстремумов изменения напряженности геомагнитного поля несколько запаздывают относительно изменения температуры. Интересно, что подобное запаздывание было отмечено и по данным о температуре и напряженности поля, полученным по материалу испанских памятников, датированных вторым тысячелетием до нашей эры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для тестирования метода археомагнитного датирования было проведено датирование материала фрагмента печи из испанского археологического памятника Эль Молон (датированного археологически), с использованием опорных кривых изменения угловых элементов геомагнитного поля, построенных для регионов Восточной Европы и Франции по данным об угловых элементах геомагнитного поля, полученным в результате археомагнитных исследований. Результаты проведенного исследования показали, что для построения опорных кривых изменения элементов геомагнитного поля в районе Западной Европы, материалы которого исследуются, для увеличения представительности опорных кривых правомерно использование совокупности данных, полученных по материалам других европейских территорий вплоть до территорий Восточной Европы.

Исследование изменения напряженности геомагнитного поля и температуры окружающей среды в последнее тысячелетие, проведенное на керамическом материале испанского многослойного археологического памятника Альбаррасин, дали возможность определить пределы изменения исследуемых величин, построить временные зависимости их изменений и выявить наличие вариаций с близкими характерными временами. Основная тенденция в изменении температуры на всем рассматриваемом временном интервале — увеличение, а в изменении напряженности геомагнитного поля — уменьшение. Отмечен сдвиг во времени кривых изменения напряженности геомагнитного поля и температуры относительно друг друга. Изменение температуры несколько опережает изменение напряженности геомагнитного поля. Аналогичный сдвиг был отмечен по данным о температуре и напряженности геомагнитного поля, полученным по

материалу испанских памятников, датированных вторым тысячелетием до нашей эры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 13-05-00431 и гранта Министерства образования и науки РФ № 14.Z50.31.0017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бураков К.С., Начасова И.Е. Изменение угловых элементов геомагнитного поля в Европе в последние двадцать четыре столетия // *Физика Земли*. 2011. № 6. С. 51–57.
- Бураков К.С., Начасова И.Е. Археомагнитные исследования и датирование обожженных изделий из глины методом регидроксиляции // *Физика Земли*. 2013. № 1. С. 111–119.
- Бураков К.С., Начасова И.Е., Нахейра Т., Молина Ф., Камара Х.А. Напряженность геомагнитного поля в Испании во втором тысячелетии до нашей эры // *Физика Земли*. 2005. № 8. С. 28–40.
- Загний Г.Ф. Структура археологических вариаций геомагнитного поля Украины и Молдавии за последние 5500 лет // *Геофиз. журн.* 1981. Т. 3. № 5. С. 60.
- Начасова И.Е. Характеристики вариаций напряженности геомагнитного поля по археомагнитным данным. Автореф. докт. дис. 1998. М. ОИФЗ РАН. 65 с.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Определение элементов древнего геомагнитного поля по термоостаточной намагниченности с коррекцией на магнитную анизотропию // *Физика Земли*. 2009. № 1. С. 44–50.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Изменение напряженности геомагнитного поля и температуры во втором тысячелетии до нашей эры в районе Испании // *Физика Земли*. 2012. № 5. С. 77–84.
- Начасова И.Е., Бураков К.С., Бернабеу Х. Археомагнитные исследования керамического материала многослойного неолитического памятника Испании “Cendres Cave” // *Геомагнетизм и Аэронавтика*. 2002. Т. 42. № 6. С. 845–851.
- Начасова И.Е., Бураков К.С., Лоррио Х.А. Археомагнитные исследования керамики археологического памятника Испании “Эль Молон” // *Физика Земли*. 2007. № 10. С. 35–40.
- Нечаева Т.Б. Основные черты вековых вариаций геомагнитного поля на Украине за последние 2000 лет // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. 1970. 17 с.
- Genevey A., Gallet Yv., Rosen J., Le Goff M. Evidence for rapid geomagnetic field intensity variations in Western Europe over the past 800 years from new French archaeointensity data // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2009. doi: 10.1016/j.epsl.2009.04.024.
- Tosheva L., Mihailova B., Wilson M.A., Carter M.A. Gravimetric and spectroscopic studies of the chemical combination of moisture by as-fired and reheated terracotta // *J. European Ceramic Society*. 2010. V. 30. P. 1867–1872.
- Wilson M.A., Carter M.A., Hall C., Hoff W.D., Ince C., Savage S.D., McKay B., Betts I.M. Dating fired-clay ceramics using long-term power law rehydroxylation kinetics // *Proc. R. Soc. A*. 2009. P. 1–9. doi: 10.1098/rspa.2009.0117.