

ВАРИАЦИИ НАПРЯЖЕННОСТИ ГЛАВНОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАЙОНЕ ТАМАНСКОГО П-ОВА В ПОСЛЕДНИЕ 13 СТОЛЕТИЙ

© 2016 г. **И. Е. Начасова***, **О. В. Пилипенко**, **Г. П. Марков**

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

*E-mail: inachasova@mail.ru

Поступила в редакцию 08.07.2015 г.

В результате археомагнитных исследований, проведенных на керамическом материале многослойного археологического памятника Таманского п-ова “Гермонасса”, получены данные о напряженности главного геомагнитного поля в прошлом. Данные о напряженности геомагнитного поля во временном интервале VIII–XX вв. н. э. свидетельствуют о явно выраженной тенденции уменьшения напряженности геомагнитного поля на этом временном интервале. В изменении средне-столетних значений напряженности поля выделены три этапа протяженностью в несколько столетий, на которых средний уровень напряженности поля, изменяясь в небольших пределах в течение данного этапа, уменьшается от 70 до примерно 45 мкТл на протяжении всего временного интервала VIII–XX вв. н. э. Вариации напряженности геомагнитного поля на временном интервале XII–XVII вв. н. э. имеют вид квазигармонических колебаний с характерным временем около 300 лет.

DOI: 10.7868/S0002333716060089

ВВЕДЕНИЕ

Археомагнитные исследования дают возможность получения данных о главном магнитном поле Земли в последние тысячелетия. Картина изменения напряженности главного геомагнитного поля по совокупности мировых данных для последних восьми тысячелетий свидетельствует о том, что на рассматриваемом временном интервале происходит плавное изменение напряженности поля, на которое накладываются квазипериодические вариации разной продолжительности и интенсивности [Начасова, 1998].

Массовым материалом, в результате исследования намагниченности которого можно получить данные о древнем геомагнитном поле, является керамика. Подробность и представительность полученных данных о напряженности геомагнитного поля для разных регионов на разных временных интервалах весьма различна. В ряде случаев удалось получить временные ряды данных напряженности поля такой подробности, которая позволила установить вид спектра вариаций напряженности геомагнитного поля в диапазоне вариаций с периодами десятки—первые сотни лет. В результате анализа ряда данных, полученных для территории центральной России (Подмосковья) для временного интервала 1481–1843 г. нашей эры, были выделены 35-ти и 65-летние вариации напряженности поля (известные по данным прямых инструментальных наблюдений) и обнаружена 115-летняя вариация. Ряды данных подобной подробности уда-

лось получить для Средней Азии для I тыс. н. э., Месопотамии — для V тыс. до н. э. [Начасова, 1998]. Позже подробные ряды были получены для территории Испании [Бураков и др., 2005] — для II тыс. до н. э. и для Причерноморья [Начасова и др., 2008] — для I тыс. до н. э. Анализ совокупности мировых данных об изменении напряженности геомагнитного поля в Евразии на протяжении последних тысячелетий привел к выводу о том, что изменение напряженности поля в основном может быть представлено суперпозицией ряда колебаний, имеющих периоды от первых сотен лет до тысячелетий. “Основное” колебание (вариация, имеющая наибольшую амплитуду) имеет период около восьми тысячелетий. Был сделан ряд заключений о закономерностях и особенностях вариаций напряженности геомагнитного поля во времени и пространстве.

Данная работа посвящена исследованию вариаций напряженности главного геомагнитного поля на временном интервале последняя треть I тыс. н. э.—II тыс. н. э. Исследовался керамический материал многослойного археологического памятника Таманского полуострова “Гермонасса”.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Археомагнитные исследования проводились с использованием аппаратно-методического ком-

плекса, созданного на основе разработок К.С. Буракова [Бураков, 1999, 2000].

Материал древних археологических памятников в основном представлен тонкостенной керамикой, поэтому специально для проведения археомангнитных исследований на таком материале К.С. Бураковым был создан цифровой магнитометр для измерения остаточной намагниченности образцов с ребром 10 мм. Основное назначение прибора – измерение остаточной намагниченности образцов тонкостенной керамики при работе методом Телье. Высокая интегрирующая способность датчика обеспечивает высокую точность измерения остаточной намагниченности. Чувствительность прибора порядка 5×10^{-5} А/м.

Для проведения исследований термоостаточной намагниченности материалов по методике Телье была создана установка, в которой нагрев образцов проводится в немагнитной печи. Согласно методике двойных нагревов Телье, каждая пара нагревов должна проводиться строго при одной температуре. Это достигается применением автоматического регулятора температуры и заданием одного и того же начального тока в печи в каждой паре нагревов. Определение напряженности древнего геомагнитного поля проводилось по модифицированной методике Телье, в которой первый нагрев (и охлаждение) образцов производится в отсутствие постоянного магнитного поля, а второй – в известном лабораторном магнитном поле. Подставка с образцами расположена в центре системы квадратных (с ребром 120 см) рамок с обмотками. Для компенсации постоянного лабораторного магнитного поля в объеме печи используются две пары обмоток. Ток в них устанавливается таким, чтобы магнитное поле в объеме печи было уменьшено в 200–500 раз. Остающееся магнитное поле и его вариации во времени компенсируются тремя дополнительными ортогональными парами обмоток. В качестве датчиков сигнала используются кольцевые магнитные модуляторы. Они располагаются вблизи центра колец рядом с печью. В результате ослабление магнитного поля в объеме печи составляет около 2000 раз. Таким образом обеспечиваются требуемые условия для проведения исследований по методике Телье.

Для учета действия факторов, приводящих к отклонению от истинных значений при определении значений параметров древнего геомагнитного поля с помощью методики Телье, был разработан метод коррекции на магнитную анизотропию и химические изменения в ходе лабораторных нагревов [Бураков, 2000; Бураков и др., 2005]. Поправки и на анизотропию, и на химические изменения вводятся в данные, получаемые после каждой ступени двойных нагревов. Это позволяет контролировать эффект поправки путем проверки уменьшения

разброса экспериментальных точек зависимости NRM от TRM (где NRM – естественная остаточная намагниченность, TRM – термоостаточная намагниченность).

Для исследования вариаций геомагнитного поля нужно иметь ряды данных с возможно более подробной привязкой данных к временной шкале. Археологически обычно датируется весь период функционирования памятника, отдельные его этапы, в лучшем случае определяется временной отрезок накопления отдельных слоев культурных отложений. Для исследования “быстрых” вариаций геомагнитного поля (с характерными временами в десятки–около ста лет) нужны ряды данных уникальной подробности, собрать материал для получения которых весьма трудно. В то же время и для получения характеристик более продолжительных вариаций напряженности геомагнитного поля также требуются как можно более подробные временные ряды данных. Возможность получения временной привязки определенных напряженности главного геомагнитного поля в результате исследования намагниченности керамического материала с относительно большей точностью, чем археологические датировки, появляется в случае, когда исследования проводятся на материале культурных отложений многослойных археологических памятников. Привязка отбираемого материала к глубине залегания в разрезе культурных отложений памятника позволяет детализировать датировку слоев культурных отложений памятника. Многослойные археологические памятники дают возможность послойного отбора образцов, что резко повышает точность и подробность временной привязки исследуемого материала, позволяя исследовать спектр вариаций геомагнитного поля с подробностью, которую невозможно получить при исследовании других археологических объектов.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Археологический памятник, расположенный в северной части станицы Тамань Краснодарского края ($\lambda = 36.8^\circ$ E, $\varphi = 45.2^\circ$ N), представляет собой многослойный памятник, средняя мощность которого составляет около 10 метров, площадью около 1 км². Археологические исследования культурных отложений памятника проводились многие годы. Были определены продолжительность существования и этапы функционирования поселения [Финогенова, 2004]. Накопление культурных отложений началось с VI в. до н. э. и продолжалось без перерыва до современности. Первыми в начале VI в. до н. э. здесь основали поселение греки. В дальнейшем город развивался, менял названия, входил в состав разных государственных образований (Греция, Боспорское государство, Понтийское царство, Римская империя, Визан-

тийская империя, Хазарский каганат, Киевская Русь, Золотая Орда, республика Генуя, Турция, Россия). Наиболее известные из древних названий этого поселения – Гермонасса, которое оно носило с VI в. до н. э. по II в. н. э., Тьмутаракань (с X по XII в. н. э.) и Тамань (с 1792 г.). В настоящее время археологический памятник носит название “Гермонасса”.

Материал отбирался из разрезов северного раскопа памятника. Согласно археологической датировке разрез в южной стенке северного раскопа содержит материал, относящийся к временному интервалу VIII–XVII вв. н. э., накопление культурных отложений разреза в районе площадки 34 северного раскопа памятника происходило во временном интервале IX–XV вв. н. э. Отбирался керамический материал послойно, последовательно по мощности. Подробность отбора определялась наличием керамического материала в культурных отложениях. Керамика ряда слоев была датирована археологически. Продолжительность временных отрезков, к которым было отнесено время накопления определенного слоя, лежит в пределах от 20 до 200 лет (чаще всего ~50–100 лет).

Послойный отбор керамического материала позволил рассчитать скорость накопления культурных отложений во временном промежутке между слоями, материал которых датирован археологически, используя имеющиеся археологические датировки и глубину залегания слоев культурных отложений, из которых отобран материал. В результате была предложена временная привязка керамического материала из слоев, не имеющих археологической датировки. Для проведения исследований были взяты также фрагменты керамики, отобранные не непосредственно из упомянутых разрезов культурных отложений памятника, а предоставленные археологами – исследователями памятника, как типичные образцы керамики определенных временных интервалов. Датировка этих материалов более широкая (100–200 лет).

РЕЗУЛЬТАТЫ АРХЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью археомагнитных исследований, проведенных на керамическом материале памятника “Гермонасса”, было получение данных о напряженности геомагнитного поля. Исследования были проведены на материалах, время обжига которых относится к временному интервалу последние три столетия I–II тыс. н. э.

Для определения напряженности древнего геомагнитного поля применялся модифицированный метод Телье. Ферримагнитная фракция керамики представлена магнетитом, о чем можно судить по

температурам, после нагрева до которых величина TRM достигает половины полной термоостаточной намагниченности. Для исследованной керамики эти температуры в основном располагаются в интервале от 350 до 500°C. Для части материала эти температуры были более низкие (магнетит с примесями).

На рис. 1 представлены примеры диаграмм Арай–Нагата (зависимости NRM от TRM), построенные по результатам исследования керамического материала памятника “Гермонасса”. Для большого числа образцов типично вращение вектора NRM до температуры около 300°C. Такая особенность объясняется тем, что исследованная керамика в основном представляет собой хозяйственную посуду, подвергавшуюся неоднократным нагревам в процессе использования. Температурный интервал, по которому проводится определение напряженности древнего геомагнитного поля, в этом случае – от 300 до 500–600°C.

Результаты проведенных исследований приведены в таблице. В трех разделах таблицы приведены определения напряженности геомагнитного поля в районе археологического памятника “Гермонасса” во временном интервале VIII–XIX вв. н. э., полученные в результате исследования керамики, отобранной из слоев разреза площадки 34 северного раскопа, разреза южной стенки северного раскопа и относительно широко археологически датированной керамики, типичной для культурных отложений определенного временного интервала. В таблице даны средние значения напряженности поля (B), вычисленные по определениям, полученным в результате исследования материала из одного слоя, и среднеквадратичные ошибки (σ). Для каждого слоя приведены средние значения интервала датировки (t) и пределы определения величины временного отрезка, которым датировано время изготовления керамического материала ($\pm \Delta t$). Имеющиеся археологические датировки выделены жирным шрифтом. Материал разрезов имеет датировку в пределах 20–100 лет (за исключением материала одного слоя, датированного в пределах 200 лет). Керамика, отобранная как типичная для определенного временного отрезка, отнесена к временным интервалам, в лучшем случае, в 100 лет, а чаще – в 200 лет. Рассмотрение данных о напряженности геомагнитного поля дает возможность сузить пределы датировки широко датированного керамического материала. Наиболее часто встречающийся разброс единичных определений напряженности по материалу из одного слоя разреза культурных отложений около 15 мкТл. При этом временные отрезки, к которым отнесены эти материалы, часто имеют величину менее ста лет. Значения напряженности поля, полученные по керамике, типичной для определенного временного интервала, имеют существенно меньший

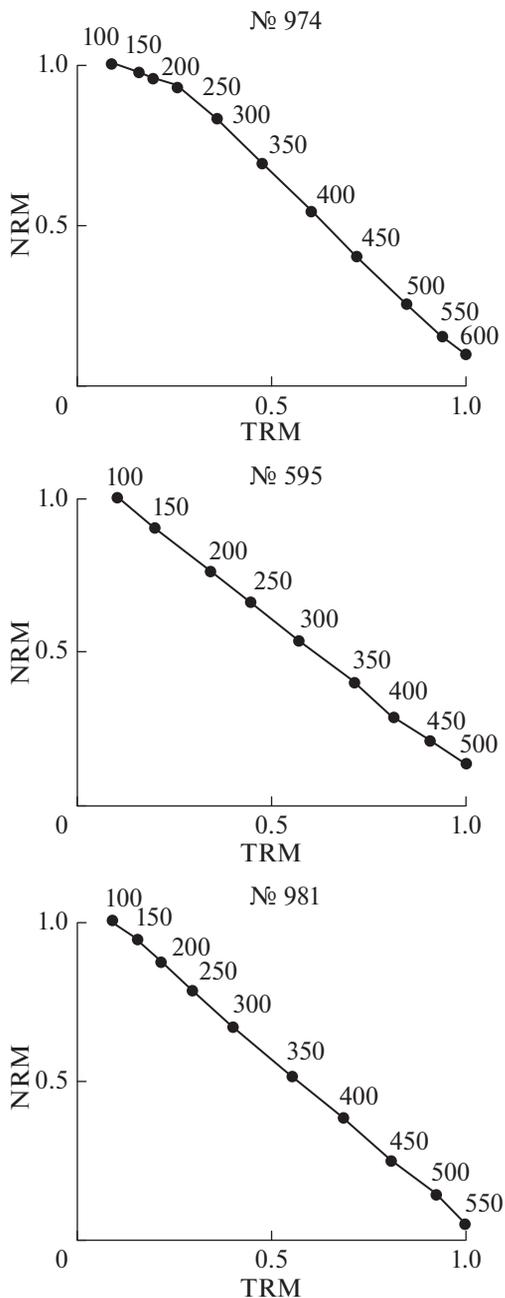


Рис. 1. Диаграммы Арай–Нагата.

разброс. Например, значения напряженности геомагнитного поля, полученные по керамике с датировкой 800 ± 100 гг. н. э., имеют очень небольшой разброс (3.4 мкТл), что свидетельствует о том, что этот материал относится к небольшому временному интервалу. Можно сделать вывод о том, что временной интервал, к которому относится время изготовления керамики с датировкой 800 ± 100 гг. н. э., во всяком случае, не более ста лет. Величины среднеквадратичных ошибок значений напряженности геомагнитного поля, сред-

них для слоя, лежат в тех же пределах (2–7 мкТл), что и для типичной керамики, что свидетельствует о завышении размеров временных интервалов, к которым отнесено время изготовления этой керамики (200 лет).

Сопоставление данных о напряженности поля, полученных по широко датированной керамике, с данными, полученными по материалу наиболее представительной коллекции, отобранной из разреза в южной стенке северного раскопа, показывает, что имеется некоторый сдвиг во времени в полученных картинах изменения напряженности поля. Керамика, отобранная из разреза, имеет более высокую точность привязки к временной шкале, что позволяет внести некоторые уточнения в датировку исследуемого керамического материала с широкой датировкой, датированного археологически по типу керамики, используя данные о напряженности геомагнитного поля. Сходимость увеличивается, если данные, полученные по керамике с широкой датировкой, отнести к несколько более позднему интервалу времени. Сдвиг можно оценить примерно в 50 лет. В этом случае данные о напряженности геомагнитного поля будут отнесены к временному интервалу от 850 до 1550 гг. н. э. (см. таблицу).

На рис. 2 приведены данные о напряженности геомагнитного поля, полученные в результате исследования намагниченности керамического материала археологического памятника “Гермонасса”, датированного тремя последними столетиями I–II тыс. н. э. Для получения представления о сходимости данных, полученных по материалам, отобранным из разных частей культурных отложений, на рис. 2 представлены три набора данных: полученные по материалу из северного раскопа – южной стенки (ромбы), северного раскопа – площадки 34 (полые треугольники) и по керамике, определенной археологически, в качестве типичной для определенных временных интервалов накопления культурных отложений (квадраты), со скорректированной временной привязкой, а также результат прямых наблюдений (залитый треугольник). Пределы датировок типичной датированной археологически керамики на рис. 2 не показаны в связи с тем, что широкие пределы датировки этого материала затушевывают картину изменения напряженности поля и мешают оценить сходимость полученных результатов.

Наиболее полная картина вариаций напряженности геомагнитного поля получена в результате исследования материала из северного раскопа разреза культурных отложений, отобранного из его южной стенки. Расхождения в определениях, полученные по материалам из разных разрезов, не связаны с источником исследованных материалов. Вариации напряженности поля хорошо прослеживаются, что подтверждает правильность

Таблица. Напряженность геомагнитного поля и датировки

	t , годы н.э.	$\pm\Delta t$, годы	B , мкТл	$\pm\sigma$, мкТл
Северный раскоп, площадка 34	860	60	75.4	2.8
	1100	50	70.3	2.9
	1300	100	61.7	2.8
	1370	50	66.7	3.5
	1400	40	54.6	2.0
Северный раскоп, южная стенка	735	15	71.0	7.1
	750	30	69.8	3.0
	815	35	68.1	2.1
	850	30	73.0	2.6
	880	20	71.4	8.3
	950	50	72.7	2.7
	1030	50	72.1	7.3
	1100	50	61.6	8.9
	1150	50	56.4	5.4
	1225	50	64.2	4.6
	1330	30	68.8	2.1
	1390	20	62.7	2.1
	1400	50	60.4	6.3
	1460	60	58.0	6.9
	1490	20	60.3	6.3
	1510	10	47.9	3.3
1530	30	63.6	1.8	
1575	25	74.1	–	
1640	10	55.2	2.6	
Типичная керамика, датированная археологически	800 (850)	100	70.7	1.7
	1150	50	53.1	2.0
	1300 (1350)	100	71.1	5.6
	1350 (1400)	50	57.2	
	1500 (1550)	100	70.2	7.3
	1800	100	42.1	

временной привязки исследованного керамического материала.

Проведенное исследование показало, что напряженность геомагнитного поля в районе памятника “Гермонасса” в последние 13 столетий изменялась в пределах ~ 87 – 42 мкТл (разброс единичных определений). Средние по одновозрастному (имеющему одинаковую датировку) материалу значения напряженности поля изменяются в пределах ~ 75 – 42 мкТл. В IX–XI веках напряженность геомагнитного поля (средние значения по одновозрастному материалу) меняется мало, затем начинается спад напряженности. Данных о напряженности поля, полученных для временного интервала XVII–XIX веков, крайне мало – всего четыре определения. К ним можно присовокупить данные прямых наблюдений. Прямые наблюдения

на ближайшей к району Тамани обсерватории в Одессе говорят о том, что напряженность геомагнитного поля во временном интервале вторая половина XX века изменялась в пределах 47 – 48 мкТл. Все эти данные свидетельствуют о резком уменьшении напряженности геомагнитного поля на интервале XVII–XIX веков.

Таким образом, основной тенденцией изменения напряженности геомагнитного поля в последнее тысячелетие является ее уменьшение. На плавное изменение напряженности накладываются квазипериодические колебания. Изменение напряженности геомагнитного поля на временном интервале XII–XVII вв. н. э. характеризуется наличием ярких вариаций, характерное время которых можно оценить примерно в три столетия. Вариации подобной продолжительности были от-

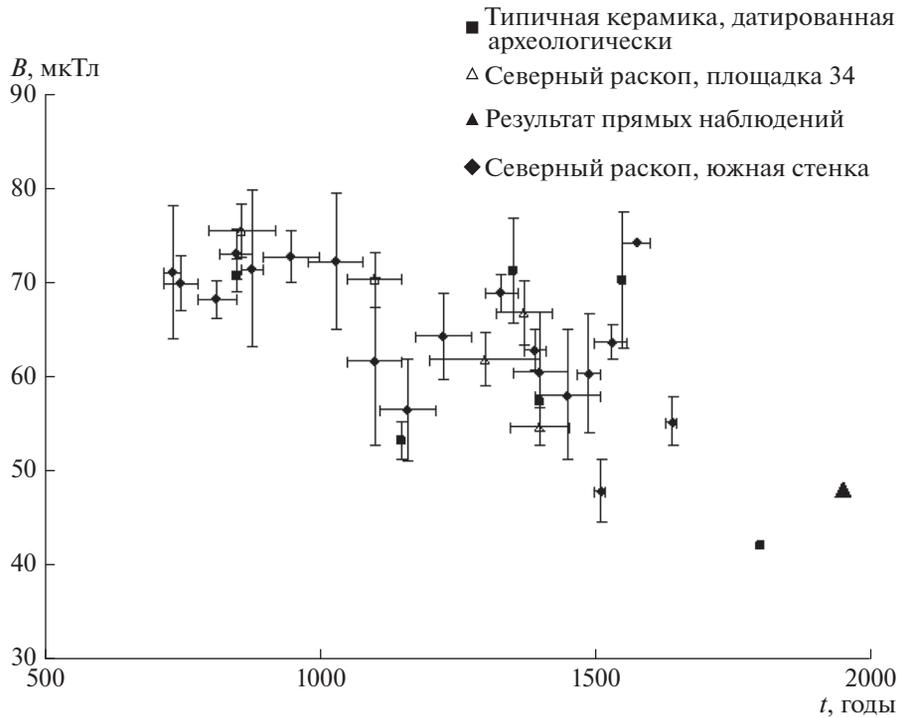


Рис. 2. Напряженность геомагнитного поля в районе Таманского п-ова. Данные, полученные по материалу из разреза в южной стенке северного раскопа (ромбы), разреза площадки 34 северного раскопа (полые треугольники) и по керамике, определенной археологически, в качестве типичной для определенных временных интервалов накопления культурных отложений (квадраты), со скорректированной временной привязкой, результат прямых наблюдений – (треугольник).

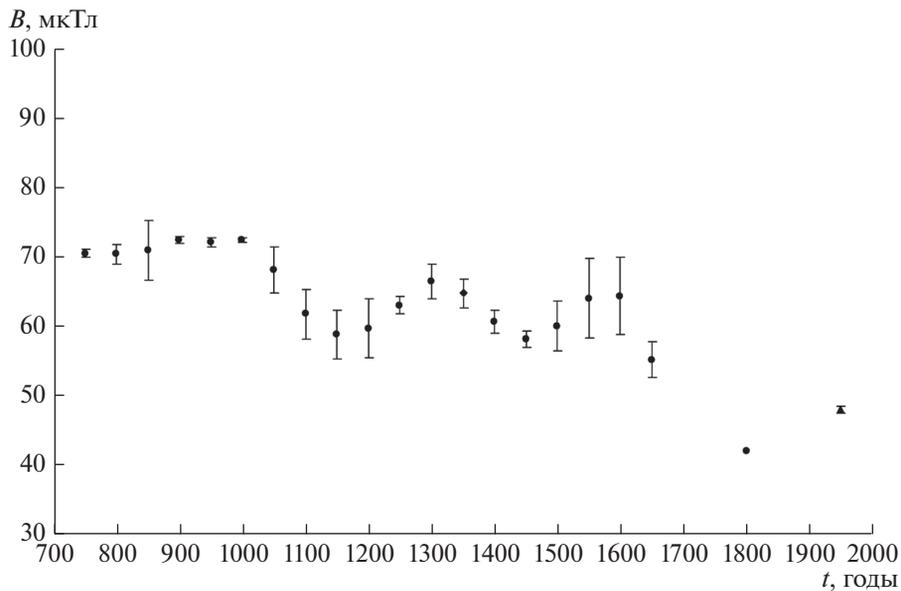


Рис. 3. Средне-столетние значения напряженности геомагнитного поля в районе Таманского п-ова с VIII по XVII вв. н. э. и определение, полученное по образцу керамики, датированному 1800 ± 100 г. н. э. – (кружки), и результат прямых наблюдений – (треугольник).

мечены ранее при рассмотрении вариаций напряженности геомагнитного поля в разных регионах на разных временных интервалах [Начасова, 1998].

На рис. 3 представлены средне-столетние значения напряженности геомагнитного поля в районе г. Тамань с VIII по XVII вв. н. э. и определе-

ние, полученное по образцу керамики, датированному 1800 ± 100 гг. н. э. Во временные интервалы в несколько столетий (VIII–XI вв., XII – первая половина XVII в., XVIII–XX вв.) вариации напряженности поля происходят на фоне мало изменяющегося уровня напряженности геомагнитного поля в каждом временном интервале. Средний уровень напряженности поля составляет ~ 70 мкТл на первом интервале, ~ 60 мкТл – на втором, и ~ 45 мкТл – на третьем. Картина изменения напряженности геомагнитного поля хорошо согласуется с картиной вариаций напряженности поля, полученной по результатам исследования керамического материала из археологических памятников Грузии и Средней Азии [Начасова, 1998]. По данным, полученным по результатам исследования материалов из археологических памятников Испании [Начасова и др., 2015], первый резкий спад напряженности поля на временном интервале последняя треть I–II тыс. н. э. происходит в X веке, т.е. несколько раньше, чем по данным, полученным для территории Тамани, по которым спад напряженности поля начинается в XI веке. Таким образом, имеется сдвиг во времени в проявлении вариаций напряженности геомагнитного поля на территориях, относящихся к разным долготным секторам. Ход изменения напряженности геомагнитного поля в Испании в X–XI веках похож на картину изменения напряженности в Болгарии [Kovacheva, 1997], что свидетельствует в пользу реальности сдвига во времени картины изменения напряженности геомагнитного поля в зависимости от долготы района наблюдения. Для уточнения картины вариаций напряженности поля необходимы дальнейшие исследования, проведенные на более точно датированном материале.

Картина изменения средне-столетних данных о напряженности геомагнитного поля в районе Таманского п-ова свидетельствует о том, что наряду с продолжительными временными отрезками с мало меняющимся средним уровнем напряженности поля наблюдаются временные отрезки, на которых напряженность поля резко уменьшается (XII и в XVII–XVIII вв. н. э.), что можно принять за проявление вариации с характерным временем в несколько столетий (500 лет и несколько более), в проявлении которой и наблюдается феномен временного сдвига.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные о напряженности геомагнитного поля в районе Таманского п-ова во временном интервале VIII–XIX вв. н. э., полученные в результате исследования керамического материала многослойного археологического памятника “Гермонасса”, свидетельствуют о явно выраженной тен-

денции плавного уменьшения напряженности геомагнитного поля на этом временном интервале. Выделены вариации продолжительностью около 300 лет. Основными чертами картины изменения напряженности геомагнитного поля на рассматриваемом временном интервале является существование временных интервалов, продолжительностью в несколько столетий (VIII–XI вв., XII–первая половина XVII вв., XVIII–XX вв. н. э.), на которых средний уровень напряженности поля меняется мало, между которыми располагаются временные отрезки быстрых падений значения напряженности поля. Резкие спады напряженности поля происходят в XII и в XVII–XVIII вв. н. э., что можно расценить как проявление вариации напряженности геомагнитного поля с характерным временем в несколько столетий (около 500 лет).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-00431) и Правительства РФ (грант № 14.Z50.31.0017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бураков К.С. Аппаратурный комплекс для архео- и палеомагнитных исследований. 1999. М.: ОИФЗ РАН. 26 с.
- Бураков К.С. Древнее геомагнитное поле по результатам исследования разных видов намагниченности пород и материалов археологических памятников. Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. 2000. М. ОИФЗ РАН. 42 с.
- 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.
- Начасова И.Е. Магнитное поле в районе Москвы с 1480 по 1840 гг. // Геомагнетизм и аэрономия. 1972. Т. XII. № 2. С. 316–320.
- Начасова И.Е. Характеристики вариаций напряженности геомагнитного поля по археомагнитным данным. Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. 1998. М. ОИФЗ РАН. 65 с.
- Начасова И.Е., Бураков К.С. Вариации геомагнитного поля в Средней Азии в последние две тысячи лет. Анализ мировых данных // Геомагнетизм и аэрономия. 1995. Т. 35. № 6. С. 150–157.
- Начасова И.Е., Бураков К.С., Ильина Т.А. Вариации напряженности геомагнитного поля в V–III веках до нашей эры в Восточном Средиземноморье (по узко датированной керамике) // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. № 3. С. 424–431.
- Начасова И.Е., Бураков К.С., Пилипенко О.В., Марков Г.П. Вариации геомагнитного поля и температуры в Испании в последнее тысячелетие // Физика Земли. 2015. № 4. С. 119–127.
- Финогенова С.И. Отчет о раскопках Гермонассы за 2003 г. ГМИИ им. А.С. Пушкина. М.: 2004. 25 с.
- Kovacheva M. Archaeomagnetic database from Bulgaria: the last 8000 years // Phys. Earth Planet. Interiors. 1997. V. 102. P. 145–151.