

УДК 550.384

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АРХЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЛЕКЦИИ ИЗРАЗЦОВ ИЗ НОВОИЕРУСАЛИМСКОГО МОНАСТЫРЯ

© 2017 г. Н.В. Сальная¹, И. Галле², А. Женевей³,
О.Н. Глазунова⁴, Д.А. Гаврюшкин¹

¹ Институт физики Земли им О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Парижский институт физики Земли – Сорбонна Париж Ситэ – Университет Париж Дидро,
Научный центр национальных исследований, г. Париж, Франция

³ Университеты Сорбонны, Университет Пьера и Марии Кюри Париж 6,
Научный центр национальных исследований, г. Париж, Франция

⁴ Институт археологии РАН, г. Москва, Россия

Представлены результаты археомагнитных исследований двух разновозрастных серий обожженных изразцов Новоиерусалимского монастыря (Московская область, Россия), точно датированных 1680–1690 г. н.э. (серия NJ01) и 1710–1720 г. н.э. (серия NJ02).

Определение напряженности геомагнитного поля проводилось на аппаратном комплексе “Триакс” с использованием специально разработанного экспериментального метода, позволяющего выполнять непрерывные высокотемпературные измерения магнитного момента. Средние значения палеонапряженности получены для серии NJ01 по пяти фрагментам, для серии NJ02 – по четырем. Для каждого фрагмента с использованием двух скоростей создания термоостаточной намагниченности (25 °С/мин и 2 °С/мин) было проанализировано от четырех до семи образцов. Эксперименты показали незначительное влияние скорости охлаждения на результаты определения палеонапряженности.

Результаты исследований подтверждают тенденцию уменьшения дипольного момента геомагнитного поля за последние четыре столетия и демонстрируют хорошую согласованность с вариациями геомагнитного поля, наблюдаемыми на территории Западной Европы. Последнее позволяет предположить отсутствие заметного вклада недипольных источников в геомагнитное поле на территории Европы. Однако для подтверждения этих предварительных выводов необходимо дальнейшее развитие археомагнитных исследований в Европейской части России.

Ключевые слова: археомагнетизм, палеонапряженность, вековые вариации, диполь, Европа.

Введение

В последние годы заметно возрос интерес к изучению вековых вариаций напряженности древнего геомагнитного поля, в результате чего были значительно пополнены имеющиеся мировые археомагнитные базы данных, такие как *GEOMAGIA*, *ArcheoInt* и др. [Brown et al., 2015; Genevey et al., 2008]. Изучение изменения магнитного поля в XVII–XVIII вв. имеет большое значение для тестирования и дальнейшего развития существующих моделей геомагнитного поля [Jackson, Jonkers, Walker, 2000; Gubbins, Jones, Finlay, 2006; Finlay, 2008; Korte et al., 2011]. Актуальность исследований определяется их ролью при разработке физической теории геомагнетизма и прогнозировании изменения геомагнитного поля в ближайшем будущем. Последнее особенно важно в свете активно обсуждаемого возможного приближения очередной инверсии геомагнитного поля [Constable, Korte, 2006; Korte et al., 2011].

Важно отметить, что существующие модели зачастую демонстрируют разный характер поведения геомагнитного поля на тех или иных территориях и/или интервалах времени. В первую очередь это связано с ограниченным числом археомагнитных данных и неравномерностью их распределения во времени и пространстве. Отсюда вытекает необходимость получения новых данных о характеристиках геомагнитного поля, в частности, о палеонапряженности. Расширение базы данных позволит выбрать из существующих моделей наиболее адекватные и заложит основу для построения моделей следующего поколения. В таком контексте особенно актуальным представляется исследование регионов со слабой временной и пространственной плотностью археомагнитных определений, к которым, в частности, следует отнести северо-западную и центральную части России.

В настоящее время археомагнитная база данных *ArcheoInt* [Genevey et al., 2008] содержит около 150 определений палеонапряженности, полученных для Северо-Запада России и сопредельных территорий во временном интервале XV–XVIII вв. Большинство этих определений выполнено в 70–80-е годы прошлого столетия [Бурлацкая, 1970; Начасова, 1972; Бурлацкая и др., 1986] классическим методом Телье [Thellier, Thellier, 1959] без применения процедур, которые в настоящее время считаются обязательными (*check-points*, учет анизотропии и др. [Biggin, Peterson, 2014]), и, следовательно, не удовлетворяет современным требованиям к качеству данных.

Задача представляемого исследования – получение новых, отвечающих современным стандартам качества определений палеонапряженности геомагнитного поля для северо-западной и центральной частей России.

Объекты исследования и методика работ

В ходе археологических раскопок 2014–2015 гг. на территории Новоиерусалимского монастыря (Московская область, Россия; географические координаты 55.92° с.ш., 36.84° в.д.) было отобрано 37 фрагментов обожженных глиняных изделий – заготовок для изразцов, взятых из двух разновозрастных горнов для обжига, узкая датировка которых была произведена на основе исторических данных и стратиграфии. Последняя закладка первого горна относится к 1680–1690 гг.; строительство и начало эксплуатации второго лежит между 1710–1720 гг.¹ В соответствии с этим, была установлена точная датировка отобранных фрагментов, разделенных на две серии: серия NJ01 включала 22 фрагмента из первого горна; серия NJ02 – 15 фрагментов из второго.

Изготовленные из фрагментов изразцов образцы были подвергнуты лабораторным исследованиям на предмет их пригодности для определения палеонапряженности. Критерием отбраковки служил характер изменчивости магнитной восприимчивости (K) и/или намагниченности насыщения (J_s) образцов в процессе их нагрева. Для измерений использовались каппа-мост *MFk1-FA* с приставкой *CS4* (*Agico*, Чехия) и магнитометр *MM VFTB* (*Peterson Instruments*, Германия), с помощью которого дополнительно изучалось поведение изотермической остаточной намагниченности в зависимости от величины приложенного поля. Для дальнейших экспериментов выбирались образцы с незначительным изменением магнитной восприимчивости и/или остаточной намагниченности насыщения в процессе нагревов (расхождение между кривыми нагрева и охлаждения не должно было превышать 10 %).

¹ О.Н. Глазунова, неопубликованные данные.

Магнитные свойства образцов исследовались в России на базе ИФЗ РАН – в Лаборатории археомагнетизма и эволюции магнитного поля Земли (Москва) и в Геофизической обсерватории “Борок” (пос. Борок, Ярославская обл.). Эксперименты по определению палеонапряженности осуществлялись во Франции в Палеомагнитной лаборатории Парижского института физики Земли (Париж).

Определение напряженности проводилось на трехосном термомагнитометре “Триакс” с использованием одноименного метода [Le Goff, Gallet, 2004], который является одной из версий классического метода Телье [Thellier, Thellier, 1959]. Процедура метода Триакс предусматривает непрерывные серии высокотемпературных измерений. При расчете напряженности используются кривые размагничивания естественной остаточной и созданной термоостаточной намагниченностей в заданном интервале температур. Метод Триакс, в частности, учитывает влияние изменения спонтанной намагниченности и позволяет создавать термоостаточную намагниченность в направлении разрушенной естественной остаточной. Таким образом, не требуется дополнительной корректировки, учитывающей анизотропию термоостаточной намагниченности.

Одно из важных достоинств используемого метода – быстрота проведения эксперимента: при скорости создания лабораторной термоостаточной намагниченности 25 °C/мин для определения палеонапряженности одного образца требуется ~2.5 ч [Le Goff, Gallet, 2004]. Сопоставление результатов, получаемых с использованием методов Триакс и Телье–Коэ [Thellier, Thellier, 1959; Coe, 1967], свидетельствует о хорошей сходимости определений палеонапряженности на уровне каждой изученной археомагнитной группы [Genevey et al., 2009; Hartmann et al., 2010].

Экспериментальные данные и обсуждение результатов

Исследование магнитных свойств образцов

Термомагнитный анализ зависимости магнитной восприимчивости K и/или намагниченности насыщения J_s от температуры T – $K(T)$ и $J_s(T)$ – выявил в большинстве образцов исследуемой коллекции наличие минералов с температурами Кюри 540–580 °C, которые предположительно классифицируются как минералы титаномагнетитового ряда. В некоторых образцах присутствует минерал с более высокой (вплоть до 680–700 °C) температурой Кюри, которым может быть гематит (рис. 1, а*, б).

Однако мы считаем, что наличие гематита не должно оказывать значительного влияния на значение определяемой палеонапряженности, поскольку, судя по результатам выполненных экспериментов, основными носителями естественной остаточной намагниченности исследуемых образцов являются минералы титаномагнетитового ряда. С учетом сказанного авторами для определения палеонапряженности был выбран температурный интервал между 175 и 510–520 °C.

Термомагнитный анализ $K(T)$ и $J_s(T)$ показал хорошую сходимость кривых нагрева и охлаждения, расхождение между которыми для всех изученных фрагментов коллекции составляет менее 10 % (см. рис. 1), на основании чего все образцы были признаны пригодными для дальнейших исследований.

У большинства исследуемых фрагментов изотермическая остаточная намагниченность доходит до насыщения в низких полях до 0.3 Тл (рис. 2), что свойственно минералам титаномагнетитового ряда.

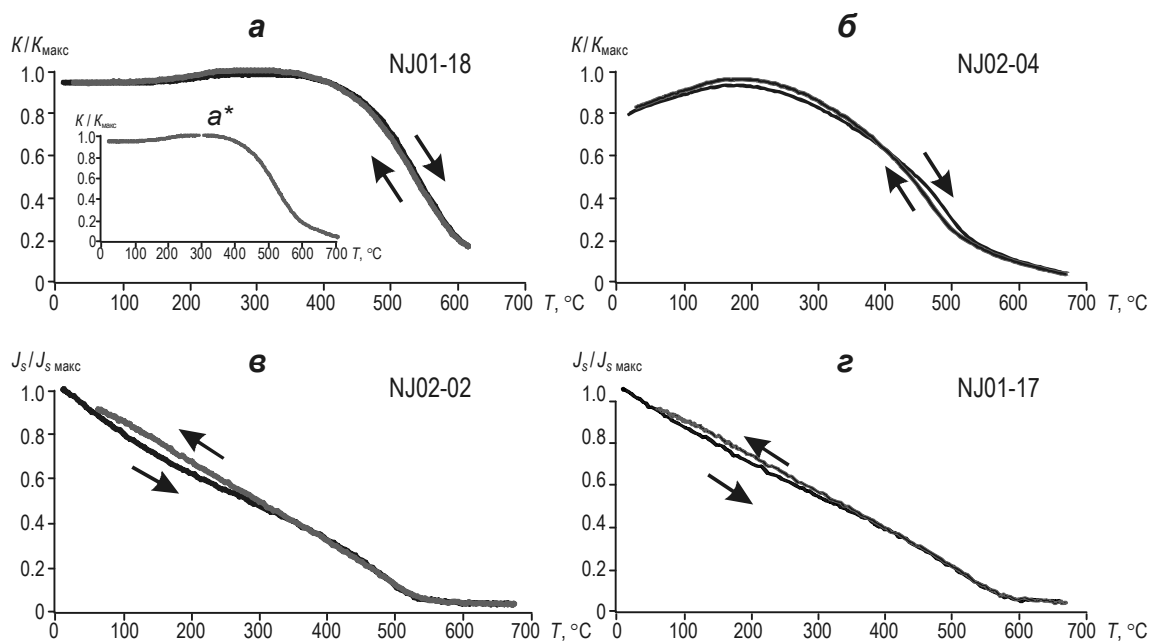


Рис. 1. Пример кривых $K/K_{\text{макс}}(T)$ (а, б) и $J_s/J_{s \text{ макс}}(T)$ (в, г), полученных при нагреве и охлаждении образцов двух серий – NJ01 и NJ02. Стрелками показано направление изменения температуры. На а в более мелком масштабе представлены результаты, полученные при повторном нагреве того же образца до температуры 700 °C (а*)

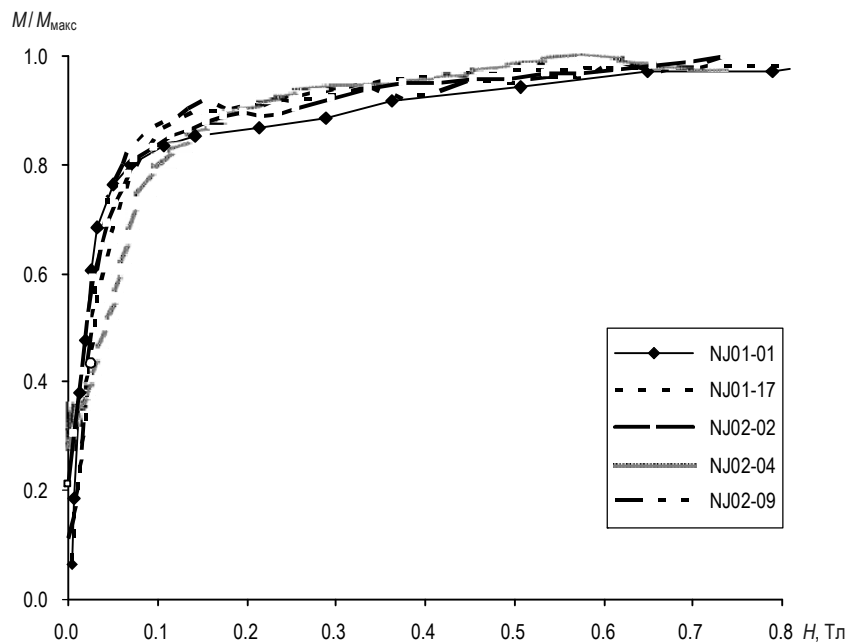


Рис. 2. Кривые нормированной на максимальное значение изотермической остаточной намагниченности, снятые в полях до 0.9 Тл для образцов серий NJ01 и NJ02

Эксперименты по определению палеонапряженности

Процедура метода Триакс предусматривает последовательные нагревы исследуемых образцов в скомпенсированном и в заданном лабораторном магнитных полях. Расчет палеонапряженности производится по отношению спадов естественной остаточной

намагниченности и лабораторной термоостаточной намагниченности за вычетом спонтанной намагниченности [Le Goff, Gallet, 2004]. Термоостаточная намагниченность в экспериментах создавалась в лабораторном поле ($H_{\text{лаб.}}$) 50–55 мкТл при скорости охлаждения 25 и 2 °С/мин.

Палеонапряженность исследовалась по двум сериям обожженных глиняных изделий (фрагментам заготовок для изразцов) из коллекции Новоиерусалимского монастыря. Результаты, соответствующие критериям качества данных по методу Триакс [Gallet, Le Goff, 2006], получены по пяти фрагментам (30 образцов) для серии NJ01 и по четырем (22 образца) для серии NJ02 (таблица). Часть данных по фрагментам не включена в таблицу, так как была отклонена в большинстве случаев из-за сильного влияния вторичной остаточной намагниченности или же из-за величины магнитного момента образцов, недостаточной для измерения на аппаратном комплексе “Триакс”.

Результаты археомагнитных исследований двух серий фрагментов
изразцов Новоиерусалимского монастыря

Фрагмент	Образец	V , °С/мин	$H_{\text{лаб.}}$, мкТл	ΔT , °С	ЕОН _{дебл.} , %	S , %	$H_{\text{др.}}$, мкТл	$H_{\text{др.}} \pm \sigma$, мкТл
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Новоиерусалимский монастырь, серия NJ01 (1680–1690 гг.)								
NJ01-01	a	25	50	195–520	93	–3	49.6	49.4±1.4
	b	25	50	195–520	94	1	51.2	
	c	25	50	200–520	95	–4	50.0	
	a-v2	2	50	360–520	92	2	49.9	
	e-v2	2	50	190–515	96	2	48.0	
	f-v2	2	50	195–515	90	5	47.5	
NJ01-02	a	25	50	195–510	97	–1	49.4	48.4±0.8
	b	25	50	200–510	98	–1	48.1	
	c	25	50	200–515	96	2	49.3	
	d-v2	2	50	200–510	96	0	48.4	
	e-v2	2	50	195–520	97	–3	47.6	
	f-v2	2	50	205–510	98	–2	47.7	
NJ01-17	a	25	55	240–520	67	4	53.0	52.3±0.4
	b	25	55	255–530	72	4	52.2	
	c	25	55	220–530	73	3	52.5	
	d-v2	2	50	270–515	69	–2	52.3	
	e-v2	2	50	260–515	67	–1	51.9	
	f-v2	2	50	245–520	71	1	51.8	
NJ01-18	a	25	55	175–520	85	3	53.5	52.3±1.1
	b	25	55	175–520	85	4	52.8	
	c	25	55	175–520	84	3	53.1	
	g	25	50	175–520	84	3	52.0	
	a-v2	2	50	175–520	85	1	51.8	
	e-v2	2	50	175–505	82	–3	52.4	
	f-v2	2	50	175–515	82	–6	50.3	
NJ01-22	a	25	55	325–525	96	4	48.5	48.6±0.7
	b	25	55	335–520	95	1	48.5	
	c	25	55	335–525	96	5	48.8	
	e-v2	2	50	325–515	96	–6	49.5	
	f-v2	2	50	335–515	96	2	47.6	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Новоиерусалимский монастырь, серия NJ02 (1710–1720 гг.)								
NJ02-02	a	25	50	180–520	78	6	49.4	47.2±1.6
	b	25	50	180–520	96	2	47.3	
	d-v2	2	50	175–510	96	3	46.2	
	e-v2	2	50	175–510	96	–2	47.9	
	f-v2	2	50	175–515	94	8	45.3	
NJ02-04	a	25	50	180–520	93	–2	46.1	45.8±1.8
	b	25	50	180–520	92	–2	47.6	
	c	25	50	180–520	94	–2	47.1	
	d-v2	2	50	200–520	93	–6	46.9	
	e-v2	2	50	175–520	94	0	43.2	
	a-v2	2	50	175–520	95	–3	44.1	
NJ02-09	a	25	50	180–520	80	4	50.3	47.4±2.1
	b	25	50	225–520	75	–2	45.7	
	c	25	50	190–520	93	0	48.3	
	b-v2	2	50	175–515	86	–4	44.6	
	e-v2	2	50	175–510	79	–4	46.8	
	f-v2	2	50	175–510	65	2	48.6	
NJ02-14	a	25	50	175–515	80	1	48.4	50.2±1.3
	b	25	50	175–510	85	–2	49.9	
	c-v2	2	50	185–510	83	–5	51.2	
	d-v2	2	50	175–510	80	–1	51.2	

Примечание: V , °C/мин – скорость создания термоостаточной намагниченности; $H_{\text{лаб.}}$, мкТл – лабораторное поле, заданное при создании термоостаточной намагниченности; ΔT , °C – температурный интервал определения напряженности; $\text{ЕОН}_{\text{дебл.}}$, % – доля деблокированной части естественной остаточной намагниченности; S , % – фактор, учитывающий наклон кривой напряженности между начальной и конечной температурами; $H_{\text{др.}}$, мкТл – палеонапряженность на уровне образца; $H_{\text{др.}} \pm \sigma$, мкТл – палеонапряженность на уровне фрагмента $\pm$ стандартное отклонение.

Компонентный анализ естественной остаточной намагниченности по “хорошим” образцам выявил наличие средне-высокотемпературной характеристической компоненты. В таких случаях анализ палеонапряженности проводился на интервале температур от 175–205 °C до 505–520 °C. Однако в одном фрагменте отмечена высокая вторичная естественная остаточная намагниченность, связанная, вероятно, с дополнительным прогревом; в этом случае интервал определения $H_{\text{др.}}$ был сдвинут в область высоких температур – от 325–335 до 510–520 °C (см. таблицу).

Из каждого фрагмента исследовалось от четырех до семи образцов (см. таблицу). Средние значения напряженности, полученные по всем образцам двух серий, оказались близкими (рис. 3) – разброс определений на уровне фрагмента варьирует от ± 0.4 до ± 2.1 мкТл, что составляет от ± 0.8 до ± 4.4 %.

Результаты исследований показывают, что средние значения напряженности, полученные при экспериментах с низкой скоростью создания термоостаточной намагниченности (2 °C/мин), на 2 % (серия NJ01) и 1.9 % (серия NJ02) ниже средних значений, полученных при экспериментах со скоростью 25 °C/мин. Отсутствие исторических сведений о скорости охлаждения исследуемых фрагментов не позволяет сделать точный вывод о “правильной” скорости создания термоостаточной намагниченности в лабораторных условиях. Однако трудно предположить, что изразцы в печи остывали менее

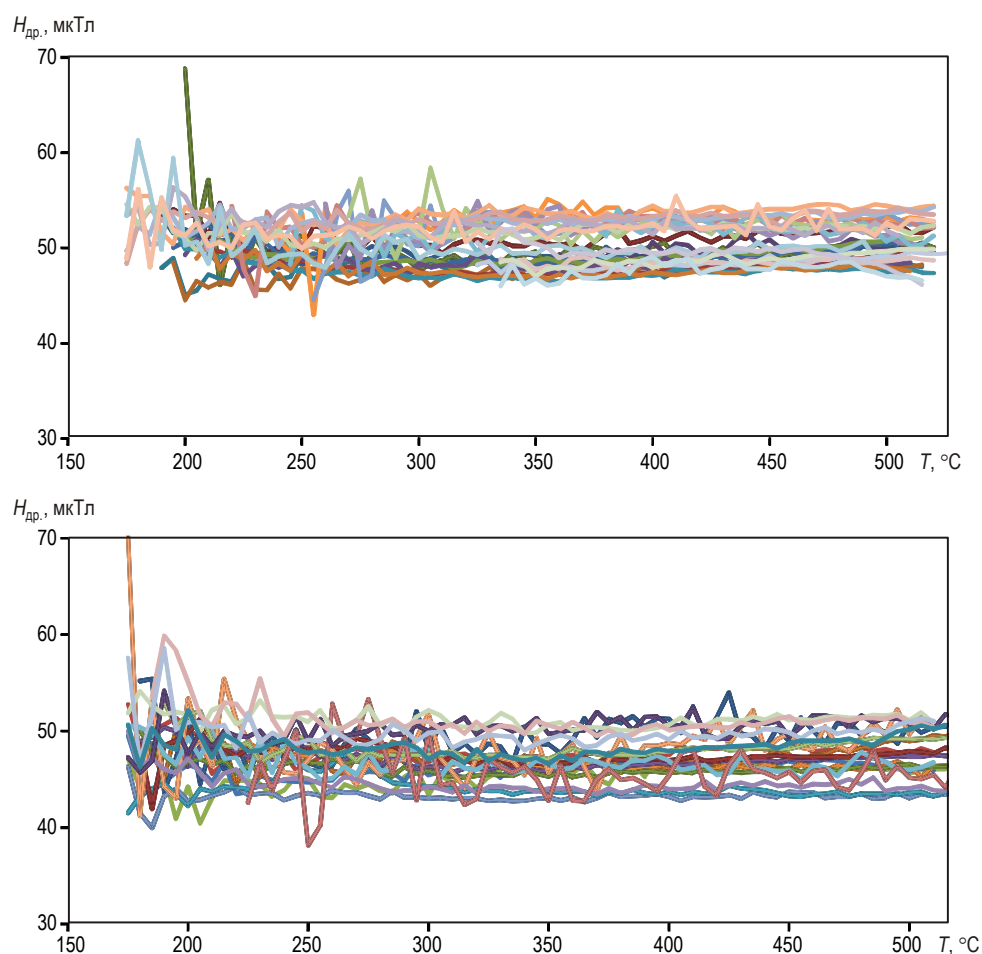


Рис. 3. Кривые значений напряженности в пределах исследуемого температурного интервала, вычисленные для всех образцов серий NJ01 (вверху) и NJ02 (внизу)

получаса (т.е. со скоростью 25 °С/мин). В то же время можно видеть (см. таблицу), что средние значения, рассчитанные на уровне фрагментов, исследованных со скоростями 2 °С/мин и 25 °С/мин, статистически не различаются.

Все полученные данные соответствуют критериям, принятым для процедуры Триакс. Во-первых, горизонтальность полученных кривых, которая оценивается как качественно, так и количественно с помощью параметра S , обозначающего разницу между значением напряженности при минимальной и максимальной температуре в исследуемом интервале. Значение этого параметра для всех изученных образцов составило от 0 до 8 %, при максимально допустимом значении 10 %. Во-вторых, доля деблокированной естественной остаточной намагниченности ($ЕОН_{дебл.}$), используемой при определении палеонапряженности, для исследуемой коллекции составляла от 65 до 98 % (согласно критериям метода Триакс эта доля должна быть более 50 %).

Сопоставление полученных авторами результатов с данными других исследователей приведено на рис. 4, где для каждого определения вертикальными и горизонтальными отрезками обозначены погрешности датировок и стандартные отклонения определений на уровне серии фрагментов (условные обозначения 1 и 2 соответственно). С использованием формулы виртуального осевого дипольного момента [Merrill et al., 1996] все представленные на рисунке значения напряженности геомагнитного поля были приведены к широте Москвы.

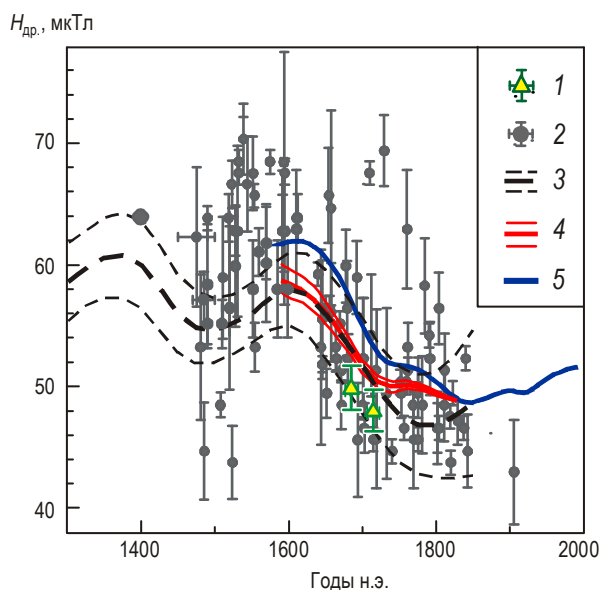


Рис. 4. Сопоставление полученных авторами определений напряженности с данными других исследователей, референтной кривой палеонапряженности по Франции и моделями геомагнитного поля: 1 – результаты, полученные авторами; 2 – результаты других исследователей [Бурлацкая, 1970; Бурлацкая и др., 1986; Начасова, 1972; Donadini et al., 2007; Pesonen, Leino, Nevanlinna, 1995]; 3 – референтная кривая по Франции [Genevey et al., 2009; 2013]; 4, 5 – модели геомагнитного поля: 4 – [Gubbins, Jones, Finlay, 2006]; 5 – [Jackson, Jonkers, Walker, 2000]

На данном этапе исследований могут быть сделаны следующие выводы.

1. Средние значения напряженности, полученные по двум сериям образцов из коллекции изразцов Новоиерусалимского монастыря, составляют 50.2 ± 2 мкТл для серии NJ01, датированной 1680–1690 гг., и 47.7 ± 1.8 мкТл для серии NJ02 (1710–1720 гг.).

2. Выполненные определения палеонапряженности для двух названных серий находятся в доверительном интервале данных, полученных для соответствующего временного интервала по Северо-Западу России и прилегающим территориям в радиусе 500 км, включая Москву и Санкт-Петербург [Бурлацкая, 1970; Бурлацкая и др., 1986; Начасова, 1972].

Отметим, что для временного интервала от XV в. до середины XVIII в. для Северо-Запада России характерен большой разброс значений напряженности древнего геомагнитного поля [Бурлацкая, 1970; Бурлацкая и др., 1986; Начасова, 1972; Donadini et al., 2007; Pesonen, Leino, Nevanlinna, 1995]. Это может быть связано как с недостаточно точными определениями, так и/или с резкими изменениями напряженности в это время. Если предположить, что верно второе объяснение, то сопоставление полученных авторами данных с эталонной кривой для Франции (см. рис. 4) позволяет сделать вывод, что большие амплитуды вариаций палеонапряженности в Восточной Европе объясняются локальными изменениями древнего геомагнитного поля.

Дополнительным доводом в пользу такого заключения служат аналогичные данные, полученные для того же временного интервала по Болгарии [Kovacheva et al., 2009]. Однако, для проверки этого предварительного вывода необходима постановка дальнейших исследований.

3. Определения палеонапряженности, полученные авторами, согласуются с расчетными значениями геомагнитного поля по модели из [Gubbins, Jones, Finlay, 2006]. В этой модели значения осевого магнитного момента Земли во временном интервале от 1600 по 1840 гг. предполагаются пониженными относительно предложенных ранее в модели [Jackson, Jonkers, Walker, 2000] (рис. 4, условное обозначение 5).

4. Полученные авторами данные хорошо согласуются с кривой вариаций палеонапряженности по Франции [Genevey et al., 2009, 2013], приведенной к широте Москвы. Такая согласованность может свидетельствовать об отсутствии заметного влияния недипольных источников геомагнитного поля на территории Западной и Восточной Европы во втором тысячелетии нашей эры.

Необходимо отметить, что сделанные авторами в ходе этой работы выводы являются предварительными и для их подтверждения требуется проведение детальных археомагнитных исследований на территории европейской части России.

Благодарности

Авторы выражают особую благодарность безвременно ушедшей из жизни Татьяне Семеновне Гендлер, принимавшей участие в отборе коллекций изразцов при раскопках в Новоиерусалимском монастыре.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-35-00494-мол_а) и Министерства образования и науки РФ (грант № 14.Z50.31.0017).

Литература

- Бурлацкая С.П. Изменение напряженности геомагнитного поля за последние 8500 лет по мировым археомагнитным данным // Геомагнетизм и аэрономия. 1970. Т. 10, № 4. С.694–699.
- Бурлацкая С.П., Начасова И.Е., Диденко Е.Ю., Шелестун Н.К. Археомагнитные определения элементов геомагнитного поля. М.: ВИНТИ, 1986. 168 с.
- Начасова И.Е. Магнитное поле в районе Москвы с 1480 по 1840 гг. // Геомагнетизм и аэрономия. 1972. Т. 12, № 2. С.316–320.
- Biggin A.J., Peterson G.A. A new set of qualitative criteria to aid inferences on palaeomagnetic dipole moment variations through geological time // Earth Science. 2014. V. 2, art. 24. doi: 10.3389/feart.2014.00024.
- Brown M.C., Donadini F., Korte M., Nilsson A., Korhonen K., Lodge A., Lengyel S.N., Constable C.G. GEOMAGIA50.v3: 1. General structure and modifications to the archeological and volcanic database // Earth Planets Space. 2015. V. 67. P.1–31. doi: 10.1186/s40623-015-0232-0.
- Coe R.S. Paleointensities of the Earth's magnetic field determined from tertiary and quaternary rocks // J. Geophys. Res. 1967. V. 72. P.3247–3262.
- Constable C., Korte M. Is Earth's magnetic field reversing? // Earth Planet. Sci. Lett. 2006. V. 246. P.1–6.
- Donadini F., Kovacheva M., Kostadinova M., Casas L., Pesonen L.J. New archaeointensity results from Scandinavia and Bulgaria Rock-magnetic studies inference and geophysical application // Phys. Earth Planet. Inter. 2007. V. 165. P.229–247.
- Finlay C.C. Historical variation of the geomagnetic axial dipole // Phys. Earth Planet. Inter. 2008. V. 170. P.1–14.
- Gallet Y., Le Goff M. High-temperature archaeointensity measurements from Mesopotamia // Earth Planet. Sci. Lett. 2006. V. 241. P.159–173.

- Genevey A., Gallet Y., Constable C.G., Korte M., Hulot G.* ArcheoInt: An upgraded compilation of geomagnetic field intensity data for the past ten millennia and its application to the recovery of the past dipole moment // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2008. V. 9, N 4. P.1–23.
- Genevey A., Gallet Y., Rosen J., Le Goff M.* Evidence for rapid geomagnetic field intensity variations in Western Europe over the past 800 years from new French archeointensity data // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2009. V. 284. P.132–143.
- Genevey A., Gallet Y., Thébaud E., Jesset S., Le Goff M.* Geomagnetic field intensity variations in Western Europe over the past millennium // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2013. V. 14, N 8. P.2858–2872.
- Gubbins D., Jones A.L., Finlay C.C.* Fall in Earth's Magnetic Field Is Erratic // *Science*. 2006. V. 312. P.900–902.
- Hartmann G., Genevey A., Gallet Y., Trindade R., Etchevarne C., Le Goff M., Afonso M.C.* Archeointensity in Northeast Brazil over the past five centuries // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2010. V. 296. P.340–352.
- Jackson A., Jonkers A., Walker M.* Four centuries of geomagnetic secular variation from historical records // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A*. 2000. V. 358. P.957–990.
- Kovacheva M., Boyadziev Y., Kostadinova-Avramova M., Jordanova N., Donadini F.* Updated archeomagnetic data set of the past eight millenia from the Sofia laboratory, Bulgaria // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2009. V. 10. P.1–6. Q05002. doi: 10.1029/2008GC002347.
- Korte M., Constable C., Donadini F., Holme R.* Reconstructing the Holocene geomagnetic field // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2011. V. 312. P.497–505.
- Le Goff M., Gallet Y.* A new three-axis vibrating sample magnetometer for continuous high-temperature magnetization measurements: applications to paleo- and archeo-intensity determinations // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 229. P.31–43.
- Pesonen L.J., Leino M.A.H., Nevanlinna H.* Archaeomagnetic intensity in Finland during the last 6400 years: Evidence for a latitude-dependent nondipole field at approximately AD 500 // *J. Geomagn. Geoelectr.* 1995. V. 47. P.19–40.
- Thellier E., Thellier O.* Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique // *Ann. Geophys.* 1959. V. 15. P.285–378.

Сведения об авторах

САЛЬНАЯ Наталья Викторовна – аспирант, ведущий инженер, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(499) 254-91-05. E-mail: natasavi@inbox.ru

ГАЛЛЕ Ив – руководитель исследований Национального центра научных исследований, Парижский институт физики Земли – Сорбонна Париж Ситэ – Университет Париж Дидро, Национальный центр научных исследований, отдел 7154. 75005, ул. Жусье, д. 1, Париж, Франция. Тел.: +33 1 83 95 74 93. E-mail: gallet@ipgp.fr

ЖЕНЕВЕЙ Аньес – научный сотрудник Национального центра научных исследований, Университеты Сорбонны, Университет Пьера и Марии Кюри Париж 6, Национальный центр научных исследований, отдел 8220, Лаборатория структурной и молекулярной археологии, 75005, пл. Жусье, д. 4, Париж, Франция. Тел.: +33 1 44 27 82 17. E-mail: agnes.genevey@upmc.fr

ГЛАЗУНОВА Ольга Николаевна – научный сотрудник, Институт археологии РАН. 117036, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 19. Тел.: +7(499) 126-47-98. E-mail: Olga-glazunova2007@yandex.ru

ГАВРЮШКИН Дмитрий Александрович – ведущий инженер, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(499) 254-92-14. E-mail: dmitry.gavriushkin@gmail.com

NEW ARCHEOINTENSITY RESULTS ON A BAKED-CLAY TILES COLLECTION FROM NEW JERUSALEM MONASTERY

N.V. Salnaia¹, Y. Gallet², A. Genevey³, O.N. Glazunova⁴, D.A. Gavryushkin¹

¹ *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *Institut de Physique du Globe de Paris- Sorbonne Paris Cité - Université Paris Diderot, CNRS, Paris, France*

³ *Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 6, CNRS, Paris, France*

⁴ *Institute of Archaeology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Abstract. We report on new archeointensity results from two groups of baked-clay tiles sampled in New Jerusalem Monastery, Moscow region (Russia). These groups of fragments are precisely dated of respectively 1680-1690 AD (NJ01) and 1710-1720 AD (NJ02). All archeointensity measurements were carried out using the experimental protocol developed for the Triaxe magnetometer, which allows magnetization measurements directly at high temperatures. Mean intensity values derived at the group level are obtained from 5 (NJ01) and 4 (NJ02) different fragments. We analyzed 4 to 7 specimens per fragment using two cooling rates (25°C/minute and 2°C/minute) for laboratory thermoremanent magnetization acquisition. We show that the cooling rate effect is statistically insignificant in our intensity determinations. Implications of these data are twofold. First, they do not argue for a regular decrease of the dipole field moment over the past four centuries. Second, they appear in relatively good agreement with the field intensity variations observed in Western Europe, suggesting the absence of a significant non-dipole field effect over Europe. However, further development of archeomagnetic study in the European part of Russia is necessary to confirm these preliminary conclusion.

Keywords: archeomagnetism, archeointensity, secular variation, dipole, Europe.

References

- Biggin A.J., Peterson G.A., A new set of qualitative criteria to aid inferences on palaeomagnetic dipole moment variations through geological time, *Earth science*, 2014, vol. 2, art. 24. doi: 10.3389/feart.2014.00024
- Brown M.C., Donadini F., Korte M., Nilsson A., Korhonen K., Lodge A., Lengyel S.N. and Constable C.G., GEOMAGIA50.v3: 1. General structure and modifications to the archeological and volcanic database, *Earth Planets Space*, 2015, vol. 67, pp. 1-31, doi: 10.1186/s40623-015-0232-0.
- Burlatskaya S.P., Change in geomagnetic field intensity in the last 8500 years, according to global archeomagnetic data, *Geomagn. Aeron., Engl. Transl.*, 1970, no. 10, pp. 544-548.
- Burlatskaya S.P., Nachasova I.E., Didenko E.J. and Shelestun N.K., Archeomagnetic determinations of geomagnetic field elements of the USSR Academy of Sciences, *Soviet Geophysical Committee of the USSR Academy of Sciences*, 1986, pp.168.
- Coe R.S., Paleointensities of the Earth's magnetic field determined from tertiary and quaternary rocks. *J. Geophys. Res.*, 1967, vol. 72, pp. 3247-3262.
- Constable C. and Korte M., Is Earth's magnetic field reversing? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2006, vol. 246, pp. 1-6.
- Donadini F., Kovacheva M., Kostadinova M., Casas L., and Pesonen L.J., New archaeointensity results from Scandinavia and Bulgaria Rock-magnetic studies inference and geophysical application, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 2007, vol. 165, pp. 229-247.
- Finlay C.C., Historical variation of the geomagnetic axial dipole, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 2008, vol. 170, pp. 1-14.
- Gallet Y., Le Goff M., High-temperature archeointensity measurements from Mesopotamia, *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, vol. 241, pp. 159-173.
- Genevey A., Gallet Y., Constable C.G., Korte M., Hulot G., ArcheoInt: An upgraded compilation of geomagnetic field intensity data for the past ten millennia and its application to the recovery of the past dipole moment, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2008, vol. 9, no. 4, pp. 1-23.
- Genevey A., Gallet Y., Rosen J., and Le Goff M., Evidence for rapid geomagnetic field intensity variations in Western Europe over the past 800 years from new French archeointensity data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2009, vol. 284, pp. 132-143.

- Genevey A., Gallet Y., Thébaud E., Jesset S., and Le Goff M., Geomagnetic field intensity variations in Western Europe over the past millennium, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2013, vol. 14, no. 8, pp. 2858-2872.
- Le Goff M., Gallet Y., A new three-axis vibrating sample magnetometer for continuous high-temperature magnetization measurements: applications to paleo- and archeo-intensity determinations. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2004, vol. 229, pp. 31-43.
- Gubbins D., Jones A.L., and Finlay C.C., Fall in Earth's Magnetic Field Is Erratic, *Science*, 2006, vol. 312, pp. 900-902.
- Hartmann G., Genevey A., Gallet Y., Trindade R., Etchevarne C., Le Goff M., Afonso M.C., Archeointensity in Northeast Brazil over the past five centuries, *Earth and Planetary Science Letters*, 2010, vol. 296, pp. 340-352.
- Jackson A., Jonkers A., and Walker M., Four centuries of geomagnetic secular variation from historical records, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A*, 2000, vol. 358, pp. 957-990.
- Kovacheva M., Boyadziev Y., Kostadinova-Avramova M., Jordanova N., Donadini F., Updated archeomagnetic data set of the past eight millenia from the Sofia laboratory, Bulgaria, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2009, vol. 10, pp. 1-6. Q05002, doi: 10.1029/2008GC002347.
- Korte M., Constable C., Donadini F., Holme R. Reconstructing the Holocene geomagnetic field, *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, vol. 312, pp. 497-505.
- Nachasova Y.E., Magnetic field in the Moscow area from 1480 to 1840, *Geomagn. Aeron., Engl. Transl.*, 1972, no. 12, pp. 277-280.
- Pesonen L.J., Leino M.A.H., Nevanlinna H., Archaeomagnetic intensity in Finland during the last 6400 years: Evidence for a latitude-dependent nondipole field at approximately AD 500, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 1995, vol. 47, pp. 19-40.
- Thellier E., and Thellier O., Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique, *Ann. Geophys.*, 1959, vol. 15, pp. 285-378.